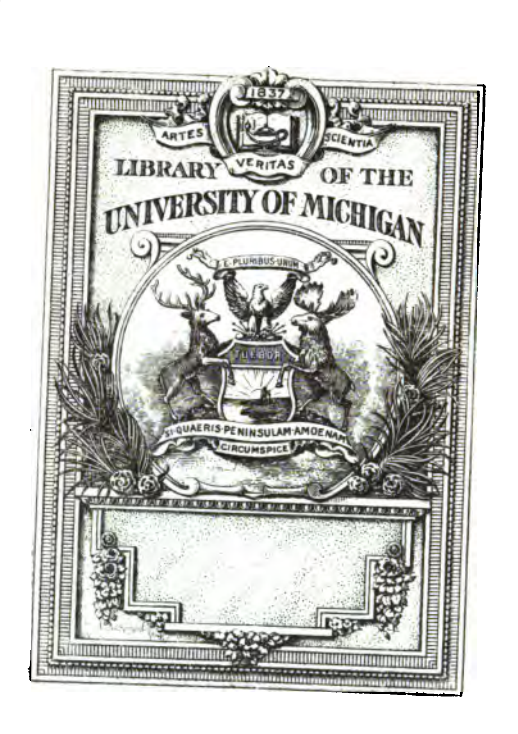

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ABHANDLUNGEN

ZU DER

LEHRE

VON DER

REIBUNGSELEKTRICITÄT

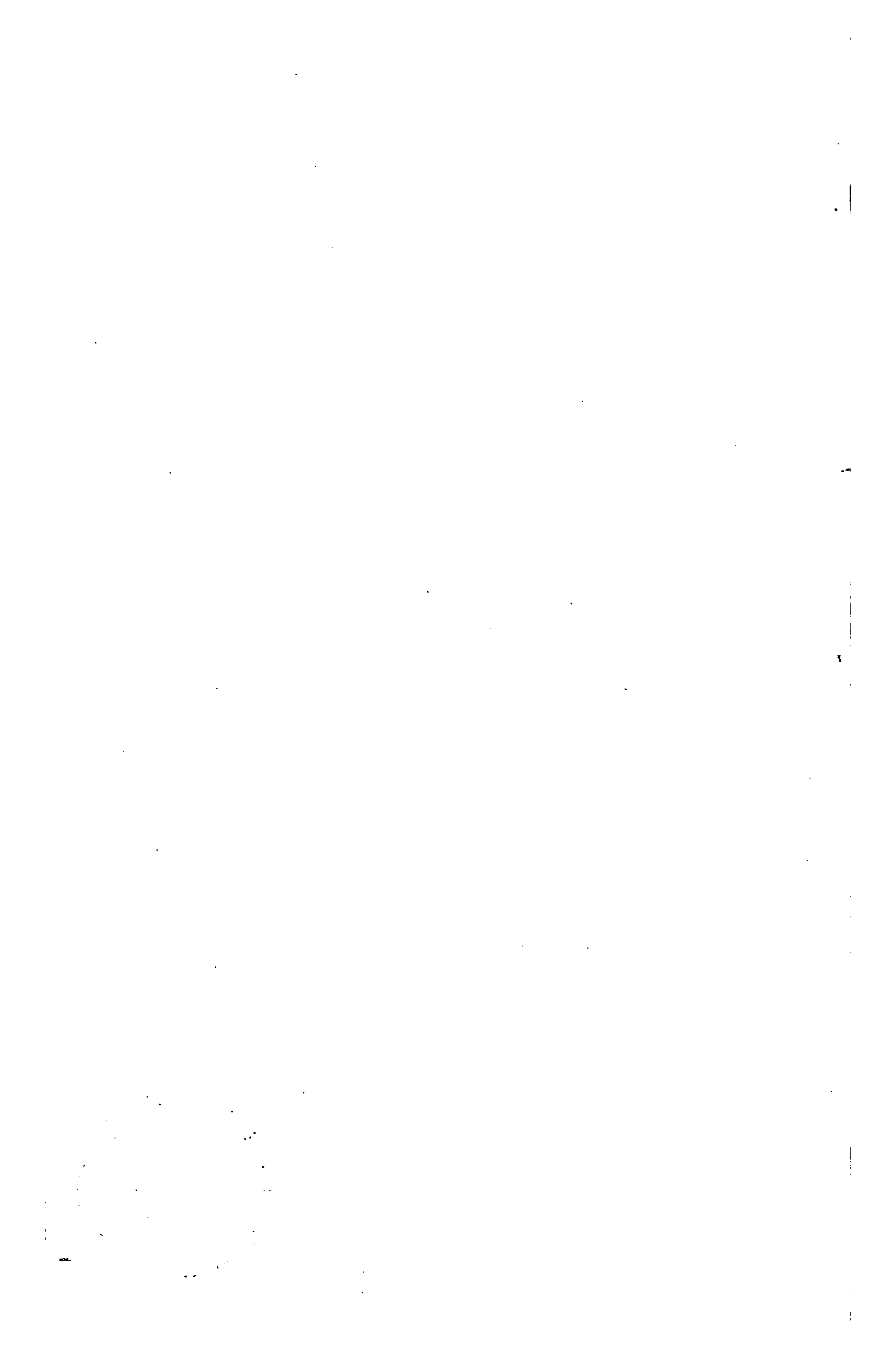
VON

PETER THEOPHIL RIESS.

MIT EINER FIGURENTAFEL.

BERLIN.
VERLAG VON AUGUST HIRSCHWALD.

1867.



Die Abhandlungen aus dem Gebiete der Reibungs-Elektricität, die ich seit 1853 veröffentlicht habe, sind hier gesammelt und so geordnet worden, dass sie, in Bezug auf meine Arbeiten, einen Nachtrag zu der in jenem Jahre erschienenen Elektricitätslehre bilden. Durch Kapitel und Paragraphe dieses Werks sind die Stellen bezeichnet, an welche die einzelnen Abhandlungen hingehören. Der Text erscheint im Ganzen und Wesentlichen unverändert; nur ist Versehenes verbessert, Einiges deutlicher ausgedrückt und alles Kritische von geringerer Bedeutung, sowol das beiläufig wie das in eigenen Artikeln gegebene, fortgelassen worden. Die drei Bemerkungen über die elektrische Schlagweite habe ich aufgenommen, weil sie die Vertheidigung eines wichtigen Gesetzes enthalten, dessen theoretische Gültigkeit in Zweifel gezogen war.

Berlin, 27. September 1866.

P. Riess.

Inhalt.

Einleitung.

Leiter der Elektricität.

Seite

Das Schwefelantimon (zu §. 28 der Elektricitätslehre) 1

Die Elektroskope.

Ein Sinuselektrometer (zu §. 58) 3

Erster Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Isolation.

Fünftes Kapitel. Die Influenz.

Ueber die Wirkung nichtleitender Körper bei der Influenz (zu §. 180) 13

Darüber Schreiben von Faraday 30

vom Verfasser 42

Zweiter Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Entladung.

Erstes Kapitel. Der Entladungsstrom und seine Bedingungen.

Die Schlagweite proportional der mittleren elektrischen Dichtigkeit der Batterie (zu §. 393) 53

Zweites Kapitel. Erwärmende Wirkung der Entladung.

Der Nebenstrom im Zweige einer elektrischen Schliessung (zu §. 488) 62

Drittes Kapitel. Magnetische Wirkung der Entladung.

Ueber den Einfluss von Metallhüllen auf die Magnetisirung (zu §. 519) 74

(Schluss des Abschnittes.) Die Prüfungsmittel des Stromes der leydener Batterie 87

Dritter Abschnitt.

Mechanismus der elektrischen Entladung.

(Nach dem ersten Kapitel.)

Aenderung der Entladungsart des Batteriestromes.

Seite

Einfluss der Leitung eines elektrischen Stromes auf die Art seiner Entladung 109
Ueber den Durchgang elektrischer Ströme durch verdünnte Luft . 133
Die elektrische Funkenentladung in Flüssigkeiten 151
Ueber die Beschaffenheit der Funkenentladung in Flüssigkeiten und die Schichtung des elektrischen Lichtes 174

Zweites Kapitel. Die begleitenden Entladungs-Erscheinungen.

Ueber die elektrischen Pausen (zu §. 672) 202
Das Glimmen.
Ueber die Neeff'sche Lichterscheinung (zu §. 682) 213
Elektroskopische Wirkung der Geissler'schen Röhren 218
Geissler's nachleuchtende Röhren 222
Bewegung elektrisirter Luft.
Der goldene Fisch (zu §. 695) 223

Drittes Kapitel. Eigenthümliche Entladungen.

Ueber die Unterbrechung des Schliessungsbogens der Batterie durch einen Condensator (zu §. 724) 225

Viertes Kapitel. Die elektrischen Zeichnungen.

Ueber die elektrischen Ringfiguren (zu §. 774) 248

Vierter Abschnitt.

Wirkung des Schliessungsbogens der Batterie in die Ferne.

Drittes Kapitel. Rückwirkung des Nebenstroms auf den Hauptstrom.

Ueber die Abhängigkeit elektrischer Ströme von der Form ihrer Schliessungen (zu §. 858) 287

(Schluss des vierten Abschnittes.)
Wirkung des elektrischen Ventils auf die Nebenströme der Batterie.

Ablenkung der Magnetnadel durch die Nebenströme 308
Ueber die Ladung des Condensators durch die Nebenströme 359
Zur Kenntniss des Nebenstroms der Batterie 375

Fünfter Abschnitt.

Erregung der Elektricität.

Erstes Kapitel. Erregung durch Reibung.

Oberflächenänderung der Guttapercha (zu §. 935) 392

Nachweisung der Figuren.

Figur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Seite	4	203	203	224	311	323	332	334	351	351	364

Seite 2 Z. 1 v. o. statt das lies den.
„ 388 „ 6 v. u. „ 317 „ 318.

Einleitung.

Leiter der Elektricität.

Das Schwefelantimon.
(Zu §. 28.)

Das krystallinische Schwefelantimon, sowol das natürlich vorkommende, wie das durch Zusammenschmelzen von Antimon und Schwefel erhaltene, ist in Stücken oder gepulvert Leiter der Elektricität. Amorphes Schwefelantimon hingegen, das man durch Schmelzung und plötzliche Abkühlung des Metalles erhält, leitet die Elektricität nicht. Dünne Cylinder, die man in einer kalten Metallform gegossen hat, erscheinen äusserlich stahlblau und glasig, innerlich grau und krystallinisch; die Hülle ist vollkommen nichtleitend, der Kern mehr oder weniger leitend. Bei dem Schmelzen ist aber nicht zu vermeiden, dass ein Theil des Antimons mit Verlust von Schwefel oxydirt und ein Gemenge von Schwefelantimon und Oxyd gebildet wird. Heinrich Rose[1]) hat das reine Schwefelantimon in den beiden Zuständen dargestellt, das krystallinische als schwarzes, das amorphe als rothes Pulver. In Stücken ist das krystallinische Metall durch einen schwarzen, das amorphe durch einen rothen

---

1) Poggendorff's Annalen 89. 122.

Strich kenntlich, das es auf nicht glasirtem Porzellan gibt. Das amorphe Metall wird auf nassem Wege gebildet bei Fällung einer Antimonoxydlösung durch Schwefelwasserstoff, es erscheint als rothes, nach dem Trocknen sehr voluminöses Pulver und enthält etwas Wasser gebunden. Ueberall ist das *amorphe* Schwefelantimon Isolator, das *krystallinische* Leiter der Elektricität. Das rothe amorphe Pulver, sei es nun auf trockenem oder nassem Wege bereitet, wird durch Behandlung mit Säuren oder durch Erhitzung bis 200° C. schwarz, krystallinisch und leitend. Durch Zusammenschmelzen von Schwefelantimon mit Antimonoxyd wird das Antimonglas gebildet, das, wenn es wenig Oxyd enthält, in gleicher Weise, wie das reine Metall, leitend und isolirend erhalten werden kann. Wird es geschmolzen auf kaltes Porzellan in Tropfen gegossen, so zeigt jeder Brocken die untere schnell erkaltete Fläche glänzend und glasartig mit rothem Strich, die obere grau und krystallinisch mit schwarzem Strich; die erste Fläche ist vollkommen isolirend, die zweite leitend.

Das Schwefelantimon bildet einen merkwürdigen Gegensatz zu Kohlenstoff und Schwefelquecksilber, welche beide im *krystallinischen* Zustande vortreffliche Isolatoren, im *amorphen* gute Leiter der Elektricität sind. Ausserdem ist das Schwefelantimon ausgezeichnet durch die längere Zeit hindurch anhaltende Ladung, die es bei einem gewissen Mittelzustande annimmt (Elektricitätslehre §. 381.).

Die Elektroskope.

Ein Sinuselektrometer.*

(Zu §. 58.)

Meinen vor längerer Zeit gefassten Vorsatz, ein Sinuselektrometer zu construiren[1]), würde ich aufgegeben haben, wenn mir der Zustand meiner Augen gestattet hätte, das seitdem von Kohlrausch angegebene und benutzte Sinuselektrometer[2]) anzuwenden. Ich fand es nöthig, mir ein Instrument von möglichst leichter Beobachtung zu verschaffen, und dasselbe, von Herrn August Oertling nach meinem früheren Plane ausgeführt, hat sich seit einem Jahre so gut bewährt, dass ich durch seine Beschreibung Anderen zu nützen glaube. Das Sinuselektrometer ist keineswegs geeignet, die Torsionswaage entbehrlich zu machen, der es, seiner Einrichtung nach, an Genauigkeit und Anwendbarkeit zur Bestimmung der Anordnung der Elektricität nachstehen muss; aber es hat vor dieser den Vorzug einer ungleich leichteren Aufstellung und Beobachtung und den, dass es ohne Mühe zur Messung sehr verschiedener Elektricitätsmengen eingerichtet werden kann, wozu in der Torsionswaage die beschwerliche Aenderung des Aufhängedraths nöthig ist. Das Sinuselektrometer kann so eingerichtet werden, dass es einem Goldblattelektroskop an Empfindlichkeit gleichkommt, und kann gleich darauf, nach einer schnell ausgeführten Aenderung eines seiner Theile, bei Elektricitätsmengen gebraucht werden, die man nur dem Quadrantelektroskope bieten darf.

---

* Poggendorff's Annalen 96. 513. (1855).
1) Lehre von der Reibungselektricität. Berl. 1853. (Elektr.lehre.) 1. 65.
2) Poggendorff's Annalen, 88. 497.

Die Basis des Elektrometers, das in Fig. 1 abgebildet ist, gleicht der Basis eines Theodoliths, die erforderlichen Falles dazu verwendet werden kann. Eine horizontale Messingscheibe ist an einem kegelförmigen Zapfen in der Hülse eines Dreifusses drehbar, und wird mit Hülfe des Stachels *a* bewegt, der je nach dem Bedarfe in eins der drei horizontalen Löcher gesteckt wird, mit welchen der Rand der Scheibe versehen ist. Um die Hülse des Dreifusses ist ein Ring drehbar, und durch die Schraube *b* daran zu klemmen, welcher an einem Arme ein über den Limbus greifendes Metallstück trägt, auf dessen schräger Endfläche der Vernier gezeichnet ist. Der Vernier kann daher an eine beliebige Stelle des Limbus gebracht und dort festgestellt werden. Zieht man dann die unter dem Vernier liegende Schraube *c* an, so wird das Vernierstück an die Messingscheibe geklemmt, und hält diese fest. Der Limbus der Scheibe, 6 Zoll 10 $^1/_2$ Lin. im Durchmesser, ist in halbe Grade getheilt, die durch den Vernier in 5 Theile getheilt werden, so dass 3 Minuten bequem zu schätzen sind. Eine feinere Theilung, die der Künstler beabsichtigte, schien mir weder erforderlich, noch meinem Zwecke entsprechend. Auf die Kreisscheibe ist ein 6 Zoll breiter, 4 $^1/_4$ Zoll hoher Glascylinder gestellt, und durch drei horizontale Schrauben befestigt, die gegen Vorsprünge der Scheibe drücken. Die Ränder des Cylinders sind mit breiten, an den Endflächen abgeschliffenen Messingfassungen versehen. In halber Höhe ist der Cylinder an den Enden eines Durchmessers durch zwei 7 $^1/_2$ Lin. breite Löcher durchbohrt, die mit sorgsam gewähltem und behandeltem Schellack ausgefüllt sind. Durch den Schellack ist ein gerader, 1 $^1/_3$ Lin. dicker Messingdrath geführt, der an einem Ende vor der Glaswand hervorragt und die Kugel *d* trägt, in der Mitte nach unten ausgeschweift ist. In der untersten Stelle dieser Biegung, in der Drehungsaxe der Scheibe, ist eine feine verticale, durch eine Schraube zu ajustirende, Stahlspitze eingelassen, auf welche eine magnetisirte Stahlnadel gesetzt wird. Der Glascylinder ist mit einer dicken messingenen Platte bedeckt, deren unterer voll-

kommen eben geschliffener Rand sich auf dem Rande der Fassung des Cylinders mit sanfter Reibung drehen lässt, was durch zwei, in gegenüberliegende Löcher der Platte eingesteckte Stacheln bewirkt wird. Um die Axe dieser Drehung nahezu in die Drehungsaxe der getheilten Scheibe zu bringen (eine genaue Uebereinstimmung beider Axen wird nicht gefordert), ist die Deckplatte von unten bis zur Hälfte ihrer Dicke abgedreht, und greift mit dem abgedrehten Theile in die Fassung ein, wo sie durch die abgerundeten Enden dreier horizontalen Schrauben ihre Lage erhält. Nahe am Rande hat die Deckplatte eine, durch ein Planglas verschlossene Oeffnung, über welcher ein, mit einem Fadenkreuze versehenes Mikroskop befestigt ist, das bei dem Gebrauche kaum 3 Zoll über der Deckplatte hervorragt. Die Vergrösserung des Mikroskops ist gering und sein Gesichtsfeld umfasst eine Schwingung der Nadel von 6 Grad. Am Rande trägt die Deckplatte einen schmalen Messingstreifen, den Standzeiger, der senkrecht nach unten und dann schräg bis nahe zur Theilung der Scheibe gebogen ist, so dass ein auf seiner Endfläche gezeichneter Strich die Verlängerung der Grad-Theilstriche bildet. Die Magnetnadel, welche auf die Stahlspitze aufgesetzt wird, ist in der Mitte kugelförmig mit konischer Höhlung, an den Enden cylindrisch abgedreht; sie ist 38 Lin. lang, $^{13}/_{20}$ Lin. dick und wiegt, mit dem zu ihrer Horizontalstellung am Südende befestigten Wachsklumpen, kaum 1 Gramm. An der oberen Fläche eines ihrer Enden ist ein feiner Längsstrich gezogen, der scharf im Mikroskope gesehen wird. Die Nadel wurde so magnetisirt, dass sie eine Oscillation in 2,16 Sekunden machte. Eine zweite Nadel, die ich noch nicht gebraucht habe, ist $^{1}/_{2}$ Lin. dick und wiegt 0,75 Gramm. Der Preis des Instruments mit beiden Nadeln beträgt 40 Thaler.

Die Aufstellung und Beobachtung des Instruments ist ausnehmend leicht. Man stellt die Kreisscheibe horizontal und dreht sie so, dass die Kugel *d* vom Beobachter abgewendet, und die ihm zugewandte Hälfte des Messing-Balkens rechts vom magnetischen Meridiane liegt. Die

Magnetnadel wird auf ihre Spitze, die Deckplatte auf den Cylinder in der Weise gesetzt, dass das dem Beobachter zugewandte Ende der Nadel unter dem Mikroskope liegt. Hat man durch Drehung des Kreises die Nadel unter das Fadenkreuz des Mikroskops gebracht, und den Vernier an einer bequemen Stelle der Theilung festgestellt, so kann die Messung beginnen. Die Nadel bildet nämlich mit dem Messing-Balken einen Winkel, den Standwinkel, dessen Werth man nicht zu kennen braucht; durch die der Kugel *d* mitgetheilte zu messende Elektricität wird die Nadel von dem Balken entfernt, und es kommt darauf an, durch Drehung des Kreises den Standwinkel wieder herzustellen. Diess würde, bei der grossen Beweglichkeit der Nadel, erst nach längerer Zeit gelingen, wenn man nicht die Einstellung der Nadel, durch passende Drehung des Kreises, während der Oscillationen der Nadel begönne, und diese dadurch bedeutend beschränkte. Man gebe nämlich bei dem Anfange jeder Oscillation dem Kreise eine schnelle, der Bewegung der Nadel entgegengesetzte Drehung: wenn das nächste Nadelende dem Beobachter von der Linken zur Rechten schwingt, drehe man den Kreis von rechts nach links, und umgekehrt. Bei den letzten kleinen Oscillationen und behufs der scharfen Einstellung, zu der man sich des Mikroskops bedient, muss natürlich die Bewegung des Kreises mit der des Nadelbildes in gleichem Sinne vollführt werden. In dieser Weise gelingt es, vor Ablauf einer Minute nach Anbringung der Elektricität, die Nadel zur Ruhe und scharf unter das Fadenkreuz des Mikroskops zu bringen. Der am Vernier abgelesene Winkel gibt die ausgeführte Drehung des Kreises an, und damit zugleich die Ablenkung der Nadel aus dem Meridiane. Man hat also, wenn die Drehung x Grade beträgt, für die untersuchte Elektricitätsmenge den Ausdruck

$$q = \sqrt{\sin x}$$

wobei, wie man sieht, eine Elektricitätsmenge als Einheit gilt, die bei dem angewandten Standwinkel die Nadel um 90 Grad aus dem Meridiane ablenken würde.

So oft man eine, mit einer früheren vergleichbare Messung vornehmen will, ist es nothwendig, am Instrumente vor der Elektrisirung den früher gebrauchten Standwinkel herzustellen. Aber nicht immer wird alsdann die Messung sogleich vorgenommen werden können. Beträgt nämlich die zu messende Elektricitätsmenge einen sehr kleinen Theil der für den Standwinkel geltenden Einheit, so ist die Drehung des Kreises zu klein, um mit genügender Schärfe bestimmt zu werden, ist die Menge der Einheit gleich oder grösser, so kann der Standwinkel gar nicht erreicht werden. In beiden Fällen muss man den Standwinkel nach der Elektrisirung verändern, indem man, nach Feststellung der Kreisscheibe, den Standzeiger auf der Theilung nach der einen oder anderen Seite verrückt. Den Werth dieser Verrückung muss man nach Vollendung der Messung und Entladung des Instruments genau bestimmen, weil er dem Drehungswinkel des Kreises additiv oder subtractiv zugelegt werden muss, um die Ablenkung der Nadel aus dem Meridiane zu geben. Addirt muss die Verschiebung des Standzeigers werden, wenn der Standwinkel vergrössert, subtrahirt, wenn er verkleinert worden ist. Hat man zwei Elektricitätsmengen bei verschiedenen Standwinkeln gemessen, so können die gefundenen Werthe nicht direct mit einander verglichen werden, weil ihnen verschiedene Einheiten zu Grunde liegen; jedem Werthe die Elektricitätsmenge, die bei dem zugehörigen Standwinkel die Nadel winkelrecht gegen den Meridian stellen würde. Man muss also das Verhältniss beider Einheiten zu einander kennen, das durch Messung einer beliebigen Elektricitätsmenge unter beiden Standwinkeln erhalten wird. Bezeichnet man mit x_p die, für eine Elektricitätsmenge q bei dem Standwinkel p gefundene Drehung des Kreises, mit x_r die Drehung bei dem Standwinkel r, und mit e_p und e_r die bezüglichen Einheiten der Elektricitätsmenge, so hat man die Proportionen:

$$q : e_p = \sqrt{\sin x_p} : 1$$
$$q : e_r = \sqrt{\sin x_r} : 1$$

und hieraus das gesuchte Verhältniss

$$\frac{e_r}{e_p} = \sqrt{\frac{\sin x_p}{\sin x_r}}.$$

Durch diese Operationen würde aber im Allgemeinen die Vergleichung zweier Elektricitätsmengen ein ziemlich zeitraubendes Geschäft, und damit der Zweck des Sinuselektrometers zum Theil verfehlt sein. Es ist daher gerathen, wie es Kohlrausch gethan hat, sich auf den Gebrauch einer Anzahl bestimmter Standwinkel zu beschränken, und für diese Ein für allemal eine Reductionstafel zu entwerfen, in welcher die verschiedenen Einheiten durch die kleinste Einheit ausgedrückt sind. Steigen die Standwinkel in der Ordnung p, r, s, t . . ., so bestimmt man die Verhältnisse

$$\frac{e_r}{e_p} = v_r \quad \frac{e_s}{e_p} = v_s \quad \frac{e_t}{e_p} = v_t \; . \; . \; .$$

Eine solche Tafel gilt für dasselbe Instrument und eine bestimmte Nadel, gleichgültig, wie diese magnetisirt sei. Misst man zu irgend einer Zeit eine Elektricitätsmenge, die bei dem Standwinkel t eine Drehung des Kreises a erfordert, so erhält man ihren Werth in der kleinsten Einheit des Instruments durch Berechnung des Ausdrucks $v_t \sqrt{\sin a}$, und kann jene Menge mit jeder andern, bei einem andern Standwinkel gemessenen und ebenso berechneten Menge, direct vergleichen.

Ich will zur Uebersicht die Messungen kurz angeben, die, bequem in zwei Stunden ausgeführt, mich in den Stand gesetzt haben, jetzt für eine Elektricitätsmenge in dem Zeitraume einer Minute einen direct vergleichbaren Werth zu finden. Der Nullpunkt der Theilung meines Instruments liegt etwa 10 Grad zur Linken von der Kugel d, und die Zahlen steigen von links nach rechts durch den ganzen Kreis. Den kleinsten Standwinkel erhielt ich, wenn der Standzeiger auf 180°, die steigend grösseren, wenn er auf 170, 160 u. s. f. bis 110 zeigte. Ich werde diese Stände durch die Ziffern 8, 7, 6 bis 1 anzeigen. Als bei dem Stande 8 die Nadel unter dem Fadenkreuze des Mikroskops stand, wurde der Nullpunkt des Verniers auf 180 gestellt, so dass also die hier gemessenen Drehungswinkel von 180°

anfangen. Die Anfangspunkte der Winkel bei den übrigen Ständen wurden durch zweimalige Beobachtung ausgemacht, indem der Standzeiger auf die gewählten Stände gerückt, und nach Einstellung der Nadel, der Winkel am Vernier abgelesen wurde. Es fand sich bei

Stand 7 der Anfangspunkt	170,2
6	160,4
5	150,55

und so fort. Diese Zahlen bilden die Tafel für den Standzeiger und geben an, von welchem Punkte die Drehungen des Kreises bei den verschiedenen Ständen zu zählen sind. Zur Aufstellung der Reductionstafel der Messungen wurde das Verhältniss der Elektricitätseinheiten für je zwei aufeinander folgende Standwinkel gesucht, indem eine passende Elektricitätsmenge (die bei dem kleineren Standwinkel eine nicht zu geringe Ablenkung der Nadel gab) unter beiden Standwinkeln gemessen wurde. Hierbei gebrauchte ich die, von der Torsionswaage her, bekannte Methode der *alternirenden Bestimmung* der Winkel, welche 6 Werthe des gesuchten Verhältnisses lieferte, aus welchen das Mittel genommen wurde. Ich setze als Beispiel gleich die erste Bestimmung her; es werden mit x_8 und x_7 die bei den Ständen 8 und 7 beobachteten Winkel bezeichnet, um die der Kreis, zur Einstellung der Nadel unter das Fadenkreuz, gedreht werden musste.

x_8	x_7	Mittel	$\sqrt{\frac{\sin x_8}{\sin x_7}}$
44°,45			
	28°,05	43°,87	1,214
43 ,3		27 ,77	1,213
	27 ,5	43	1,215
42 ,7		27 ,3	1,216
	27 ,1	42 ,3	1,215
41 ,9		26 ,85	1,216
	26 ,6		

Wenn e_8 und e_7 die Elektricitätseinheiten bei den Ständen 8 und 7 bezeichnen, so hat man

$$\frac{e_7}{e_8} = \sqrt{\frac{\sin x_8}{\sin x_7}} = 1{,}215.$$

In gleicher Weise wurden die Verhältnisse $\frac{e_6}{e_7}$, $\frac{e_5}{e_6}$ . . . . bis $\frac{e_1}{e_2}$, und ferner, zur Controle der Messungen, die Verhältnisse der Einheiten von drei Paaren entfernter Standwinkel bestimmt. Diese Controle fiel sehr genügend aus. So wurde z. B. $\frac{e_4}{e_7} = 1{,}682$ gefunden. Die Multiplication von $\frac{e_4}{e_5} \cdot \frac{e_5}{e_6} \cdot \frac{e_6}{e_7}$ gab 1,6837. Aus den Werthen für die aufeinander folgenden Standwinkel wurde die Reductionstafel durch successive Multiplication gebildet. Man hat nämlich:

$$
\begin{aligned}
v_8 &= 1 \\
v_7 &= \frac{e_7}{e_8} \\
v_6 &= v_7 \cdot \frac{e_6}{e_7} \\
v_5 &= v_6 \cdot \frac{e_5}{e_6} \\
&\cdot \quad \cdot \\
&\cdot \quad \cdot \\
&\cdot \quad \cdot \\
v_1 &= v_2 \cdot \frac{e_1}{e_2}
\end{aligned}
$$

und erhält damit die Elektricitätseinheit für jeden Standwinkel, ausgedrückt in der Einheit des kleinsten Winkels. Die brigg. Logarithmen dieser 8 Werthe bilden die Reductionstafel.

Bei der Aufstellung des Sinuselektrometers hat man nur den Standzeiger auf 180 und, nachdem die Nadel durch Drehung des Kreises unter das Fadenkreuz gebracht ist, den Vernier auf 180 zu stellen, um das Instrument zur Messung bereit zu haben. Nachdem man den Kreis festgestellt, und die zu messende Elektricität an die Kugel angebracht hat, dreht man, im Falle, dass die Nadel heftig abgestossen wird, die Deckplatte des Instrumentes in der

Richtung der Abstossung. Schon die erste Schwingung der Nadel lehrt, auf welchen Punkt man den Standzeiger am passendsten zu stellen habe. Dann wird die Klemmschraube des Kreises gelöst, und die Nadel durch Drehung des Kreises unter das Fadenkreuz gebracht. Der am Vernier abgelesene Winkel, vermindert um die für den Stand in der ersten Tafel angegebene Zahl, gibt den Drehungswinkel. Sucht man log. sin. dieses Winkels, und addirt die Hälfte davon zu dem in der zweiten Tafel bei dem gebrauchten Stande verzeichneten Logarithmus, so erhält man den Logarithmus vom Werthe der untersuchten Elektricitätsmenge.

Das beschriebene Sinuselektrometer erlaubt, Elektricitätsmengen mit einander zu vergleichen, deren Verhältniss 1 zu 20 nicht übersteigt; die Messung erhält einen grösseren Umfang, wenn, bei einer andern Biegung des Balkens, der erste Standwinkel kleiner genommen werden kann. Fast die kleinste Elektricitätsmenge, die noch mit Sicherheit zu bestimmen war, empfing das Instrument von einer alten trocknen Säule, die ein feines Goldblattelektroskop etwa 60° divergiren machte. Wollte man es für geringere Elektricitätsmengen brauchbar machen, so müsste die leichtere Nadel, schwach magnetisirt, angewendet, für diese aber eine neue Reductionstafel entworfen werden. Um grössere Elektricitätsmengen zu messen, als das Instrument in seinem jetzigen Zustande verträgt, würde man die schon gebrauchte Nadel stärker magnetisiren, und für sie die oben aufgestellte Tafel benutzen können. Zur Vergleichung zweier Elektricitätsmengen, die an demselben Zeitpunkte gemessen sein sollen, kann man keine andere Methode anwenden, als die der alternirenden Bestimmung, von welcher oben ein Beispiel gegeben worden ist. Die bei Messungen in der Torsionswaage häufig angewandte Methode, eine Messung durch Aufsuchung des Zerstreuungscoëfficients auf einen andern Zeitpunkt zu reduciren, ist am Sinuselektrometer nicht anwendbar, weil jener Coëfficient darin nicht constant bleibt, sondern, eine längere Zeit hindurch, fort-

während stark abnimmt. Diess rührt daher, dass der grösste Theil des elektrisirten Balkens sich in einem verhältnissmässig kleinen Luftraume befindet, und derselbe Grund mahnt zur Vorsicht, wenn man, kurze Zeit nach einander, Elektricitätsmengen verschiedener Art im Instrumente messen will. Bei dem Wechsel der Elektricitätsart nimmt der Zerstreuungscoëfficient plötzlich stark zu, und erreicht erst nach einiger Zeit seinen früheren geringen Werth. Es ist daher gerathen, mindestens $\frac{1}{4}$ Stunde zwischen den Messungen verschiedenartiger Elektricitätsmengen verfliessen zu lassen, oder, wo dies nicht angeht, bei dem Wechsel das Instrument mit der neuen Elektricitätsart zu laden, einige Minuten stehen zu lassen, zu entladen, und erst dann die zu messende Elektricität anzubringen.

Erster Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Isolation.

Fünftes Kapitel.

Die Influenz.

Ueber die Wirkung nichtleitender Körper bei der elektrischen Influenz.*

(Zu §. 180.)

Die elektrische Influenz, jene wunderbare Eigenschaft eines elektrisirten Körpers, jeden ihm genäherten Körper aus der Ferne mit beiden Elektricitäten zu versehen, hat den Gegenstand zu einer Menge von Untersuchungen geliefert, die vollkommen überflüssig gewesen wären, wenn man die bereits gewonnene klare Einsicht in jene Erscheinung streng festgehalten hätte. Die aus Franklin's Theorie gezogene Folgerung, die von Aepinus, Coulomb und Poisson ohne Weiteres angenommen wurde, lässt jenen, mit beiden Elektricitäten versehenen, Körper nicht anders wirken, als er wirken würde, wenn es möglich wäre, die Influenz aufzuheben, und den influencirten Körper mittels einer geriebenen Siegellack- und Glasstange, in der früheren Weise direct zu elektrisiren. Mit dieser Ansicht wird ein jeder

* Poggendorff's Annalen 92. 337. (1854).

Versuch, in welchem man den influencirenden und influencirten Körper auf einen dritten Körper wirken lässt, zu einem speciellen Falle von so grosser Verwickelung, dass es völlig unnütz erscheinen würde, sich mit seiner Untersuchung zu beschäftigen. Man bedenke, dass die Bestimmung der elektrischen Anordnung auf einem Körper, der die einfache Influenz eines elektrisirten Körpers erfährt, ein ungelöstes und schwerlich allgemein zu lösendes Problem ist, um die Fruchtlosigkeit des Unternehmens einzusehen, die Influenz von drei verschiedenen Elektricitätsportionen, deren Anordnung unbekannt ist, auf einen Körper durch allgemein gültige Regeln festzustellen. Aber dadurch, dass die richtige Ansicht von der Influenz verlassen wurde, ist die Untersuchung bestimmter Fälle der bezeichneten Art nöthig geworden, die allein darauf beschränkt bleiben muss, den beobachteten Erfolg der Versuche mit jener Ansicht in Einklang zu bringen. So habe ich vor langer Zeit den einfachsten Fall betrachtet, in welchem ein influencirter Körper von einem neutralen momentan berührt wird, und es ist mir und Andern zum Theil gelungen, den Grundirrthum zu beseitigen, nach welchem die in dem berührten Körper zurückgebliebene Elektricität gefesselt, wirkungslos oder nur nach einer bestimmten Richtung und bis zu einer bestimmten Entfernung hin wirkend sein sollte. Ich sage, nur zum Theil gelungen, denn wenn auch jener Grundirrthum nicht mehr nackt und klar ausgesprochen wird, so zeigen doch vielfache Beispiele, dass er noch versteckt gehegt wird und seinen verderblichen Einfluss äussert. Die ganze hier folgende Untersuchung würde sich auf wenige Erörterungen beschränken können, wenn es nicht darauf ankäme, Versuche den Versuchen entgegenzustellen, die, eben in Folge jenes Irrthums, eine falsche Deutung erhalten haben. Es sei mir eine beiläufige Bemerkung gestattet. Man hat getadelt, dass ich bei der Polemik gegen die Unwirksamkeit der Influenzelektricität, mich gegen ihre übliche Bezeichnung als gebundene, latente Elektricität ausgesprochen habe, und mein Vorschlag, diese

Bezeichnung aufzugeben, hat bisher keinen Eingang gefunden. Ich glaube, mit Unrecht. Es handelt sich hier nicht darum, dass ein Wort in anderer Bedeutung gebraucht wird, als es in der Sprache hat, sondern darum, dass diess Wort in der Physik bereits mit anderer Bedeutung einheimisch ist. Eine Portion Wärme ist gebunden oder latent, sagt, dass diese Portion keine Einwirkung auf das Thermometer äussert, während eine gebundene oder latente Menge Elektricität ihre volle Wirkung auf ein Elektrometer hat. Man kann freilich verlangen, mit einer unpassenden Bezeichnung einen richtigen Sinn zu verbinden, aber die Anforderung scheint mir zu gross, um das Verständniss zu fördern, dass der Leser den Ausdruck: von einer Elektricitätsmenge ist ein Theil gebunden, übersetzen soll in den: es ist neben der Wirkung dieser Elektricitätsmenge noch die einer kleineren Menge ungleichnamiger Elektricität in Betracht zu ziehen. Ich komme zu dem Gegenstande dieser Abhandlung.

Faraday hat in der 11ten, 12ten und 13ten Reihe seiner unvergänglichen Experimentaluntersuchungen über die Elektricität sich mit der Influenz beschäftigt, und die Ansicht durchzuführen gesucht, dass die Influenz nicht durch eine Wirkung der Elektricität in die Ferne, sondern dadurch zu Stande kommt, dass ein elektrischer Körper nur auf die ihm zunächst liegenden Theile eines isolirenden Mediums wirkt, und diese Wirkung sich von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt. Die Influenz sollte wesentlich abhangen von der Natur des isolirenden Mediums, das deshalb als ein *diëlektrisches* bezeichnet wird, welches den influencirenden von dem influencirten Leiter trennt. Ich habe vor langer Zeit gezeigt[1]), dass diese Theorie unhaltbar ist, weil sie auf der, wie sich experimentell nachweisen lässt, unrichtigen Annahme fusst, dass von den drei Elektricitätsmengen, die bei der Wirkung eines elektrisirten Körpers auf einen neutralen vorhanden sind, zwei Mengen

1) Repertorium der Physik 1842. 129.

vollkommen miteinander beschäftigt sind, und nicht weiter wirken; ich habe angedeutet, dass die Versuche, welche der Theorie zur Stütze dienen sollen, sich durch die gleichzeitige Wirkung aller drei Elektricitätsmengen erklären lassen. Eine solche Andeutung schien mir genügend, da diese Versuche eben zu den verwickelten Fällen gehören, von welchen ich am Eingange gesprochen habe. Es herrscht indessen noch immer Unklarheit über die Bedeutung eines Theiles jener Versuche, die dadurch besonders wichtig sind, dass sie einen wesentlichen Unterschied zwischen der Wirkung leitender und nichtleitender Körper bei der Influenz darzulegen scheinen, und es dürfte deshalb die Mühe, jene Unklarheit auf experimentellem Wege zu entfernen, nicht überflüssig sein.

Um das verschiedene, von ihm so genannte, specifische Vertheilungsvermögen der Isolatoren zu bestimmen, hat Faraday ein Instrument angegeben, das Differential-Inductometer genannt wird[1]) und aus drei, oder einfacher aus zwei parallelen, mit ihren Flächen in geringer Entfernung einander gegenüberstehenden, isolirten Metallscheiben besteht. Die eine Scheibe wurde direct elektrisirt und der elektrische Zustand der andern, von jener durch Influenz elektrisirten, Scheibe untersucht. Als zwischen beide Scheiben, ohne sie zu berühren, eine nichtleitende Platte (Schellack- oder Schwefelplatte) gestellt war, fand sich die Elektrisirung der influencirten Scheibe stärker als früher, wo sie nur durch eine Luftschicht von der elektrisirten Scheibe getrennt war. Durch Zwischenstellung einer leitenden Platte würde die Elektrisirung der influencirten Scheibe geschwächt werden müssen, wie aus anderen Versuchen Faraday's (exper. research. 1218) mit Nothwendigkeit folgt. Nach Faraday's Meinung müsste nämlich die Einführung der leitenden Platte bewirken, dass die Influenz, statt in geraden Linien durch die Luftschicht zwischen den Scheiben, in gekrümmten Linien um den Rand der Platte erfolgte.

1) Experimental researches in electricity. Lond. 3 vol. 1839—1855. (exper. research.) alin. 1307.

Die Versuche mit isolirenden Zwischenplatten sind mit verschiedenem Erfolge wiederholt worden. Knochenhauer[1]) fand bei Zwischenstellung einer Schellackplatte zwischen zwei Scheiben, übereinstimmend mit Faraday, auf der influencirten Scheibe eine Vermehrung der Influenz-Elektricität, konnte indess über den Grund dieses Erfolgs nicht in's Klare kommen. Müller[2]) hielt diesen Erfolg für unverträglich mit der Ursache der Erscheinung, fand bei mehrfacher Wiederholung des Versuchs eine Verminderung der Influenzelektricität, und schrieb die Angabe seiner beiden Vorgänger einem Irrthume bei der Prüfung der Art der erregten Elektricität zu.

Der angeführte Influenzversuch verlangt, um sichere und unzweideutige Resultate zu geben, einige Vorsicht bei der Aufstellung des Apparats, die ich deshalb ausführlich angebe. Zwei, an Glasstielen isolirte, Metallscheiben wurden mit einander zugewandten Flächen auf einem Tische vertical aufgestellt, so dass die Scheiben der Tischkante parallel standen, an welcher der Beobachter sass. Die hintere Scheibe war durch einen 18 Zoll langen Drath mit dem Zuleiter eines Goldblattelektroskops, bei feineren Versuchen eines Säulenelektroskops, verbunden, und die vordere Scheibe wurde mit positiver Elektricität versehen. Das Elektroskop gab positive Elektricität an, die durch ableitende Berührung des Elektroskops entfernt wurde. Wurde nun im Laufe des Versuchs die Menge der Influenzelektricität auf der mit dem Elektroskope verbundenen Scheibe vermehrt, also die Influenz der direct elektrisirten Scheibe scheinbar *verstärkt*, so gab das Elektroskop wiederum *positive* Elektricität an, hingegen *negative* Elektricität, wenn jene Influenz scheinbar *geschwächt* wurde. Um jede Unsicherheit von dem erhaltenen Resultate zu entfernen, wurde das Elektroskop nach der Veränderung der Influenzelektricität ableitend berührt, und die Anzeige des Elektroskops

1) Poggendorff's Annalen 51. 126.
2) Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik. Braunschw. 1849. 61.

beobachtet, nachdem die Ursache der Aenderung entfernt war; hier bewies die Anzeige von positiver Elektricität, dass die Influenzelektricität bei dem Hauptversuche vermindert, die von negativer, dass sie vermehrt worden war. Einen solchen Controlversuch habe ich nach jedem Versuche angestellt, so dass kein Zweifel an den Angaben gehegt werden kann. Es wurden zuerst zwei Metallscheiben von 81,6 Linien Durchmesser und $^{17}/_{24}$ Lin. Dicke gebraucht, die 13 Linien von einander entfernt standen. Eine Schellackscheibe, nahe 7 Zoll im Durchmesser, 3 $^{5}/_{6}$ Lin. dick, die durch Pressen zwischen Glasplatten eine spiegelnde Oberfläche erhalten hatte, war an einem, mit Schellack überzogenen, 5 Zoll langen, Glasstiele in einer Klemme befestigt, die um ein Gelenk drehbar, die Schellackscheibe an eine beliebige Stelle des Raumes zwischen beiden Metallscheiben bringen konnte. Als die Schellackscheibe durch eine Spiritusflamme sorgsam von jeder Elektricität befreit, in die Mitte zwischen den Metallscheiben und mit ihnen concentrisch gebracht war, fand sich die Influenzelektricität der mit dem Elektroskope verbundenen Metallscheibe bedeutend *vermehrt*, wie sich an dem Goldblatt- oder an dem Säulen-Elektroskope erkennen liess. Als hingegen die Schellackscheibe nur ein kleines Stück des Zwischenraums einnahm (ein spindelförmiges Stück von etwa $^{1}/_{2}$ Zoll Breite) und der grösste Theil der Schellackscheibe ausserhalb des Zwischenraums blieb, wurde die Influenzelektricität der Metallscheibe, wenn auch nur wenig, doch ganz entschieden *vermindert*. Ich führe das Letztere hauptsächlich deshalb an, weil man, die eingeschaltete Scheibe mag beschaffen und gestaltet sein wie sie wolle, stets in dem Augenblicke, wo dieselbe zwischen die Metallscheiben tritt, eine Verminderung der Influenzelektricität an der Bewegung des Elektroskops bemerkt, auf die ich bei den folgenden Versuchen keine Rücksicht nehmen will. Sonst würde schon dieser Versuch die Annahme bündig widerlegen, nach welcher die Influenz der direct elektrisirten Metallscheibe stärker durch Schellack hindurch, als durch Luft wirkt, da durchaus kein

Grund vorhanden ist, weshalb ein kleines Stück Schellack eine Wirkung schwächen sollte, die ein grösseres Stück verstärkt. Die zum Schlusse angeführten Versuche werden die Erklärung dieser auffallenden Erscheinung liefern.

Um mit kleineren Zwischenplatten operiren zu können, ersetzte ich die grossen Metallscheiben durch andere von 52 Linien Durchmesser, und entfernte diese 18 Linien von einander. Hier aber konnte die Veränderung der Lage der Klemme beim Vor- und Zurückschlagen einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate des Versuchs gewinnen. Es wurde deshalb die Klemme verworfen, und über den Metallscheiben ein 3 Zoll langer durchbohrter Metallcylinder horizontal befestigt, in dessen Axe ein Metallstab sanft drehbar ist, der an dem einen Ende eine runde Schraubenmutter zur Feststellung, an dem andern eine 1½ Zoll lange Klemme trägt. Diese Klemme hat, wie beiläufig bemerkt wird, die bequeme Einrichtung, dass die eine Wange derselben unbeweglich ist, und die andere auf einem Prisma durch eine Schraube bewegt wird, so dass in jeder Lage beide Wangen einander parallel stehen. War in dieser Klemme der Stiel einer Platte befestigt, so reichte eine Drehung der Axe des Cylinders um 90° hin, die Platte zwischen die Metallscheiben zu bringen, und sie von ihnen hinlänglich zu entfernen, ohne dass die Stellung des Apparats gegen die Scheiben verändert wurde, wenn man die Stellung der Schraube an der Klemme ausnimmt, deren Einfluss, wo er vorhanden war, berücksichtigt wurde. Diese Aufstellung des Apparats gestattete dem Beobachter, Arm und Hand während des Versuchs unverrückt zu halten, da ein leichter Druck eines Fingers hinreichte, die Zwischenplatte in die beiden geforderten Lagen zu bringen. Die Unbeweglichkeit des Beobachters ist bei einigen der später folgenden Versuche nöthig, bei welchen geringen Bewegungen des Goldblattes am Elektroskope Gewicht beigelegt wird. Bei den zunächst folgenden Versuchen ist die Anzeige des Elektroskops so stark, dass jene Vorsicht nicht verlangt wird. Die folgende Tafel gibt die Aenderung der Influenzelektricität auf der neutra-

len Metallscheibe an, die durch Zwischenstellung der bezeichneten Platten bewirkt, und aus der zwiefachen Anzeige des Elektroskops geschlossen wurde. Die Zwischenplatten waren an Glas- oder Schellackstielen von 4 bis 6 Zoll Länge befestigt, und vor dem Versuche vollkommen unelektrisch.

Metallscheiben 52 Linien Durchmesser. Entfernung 18 Linien.

	Zwischenplatten.		Influenzelektricität der neutr. Scheibe.
A.	Schellack	(Scheibe $48\frac{1}{2}$ — $48\frac{11}{12}$ Lin. Durchmesser, $1\frac{1}{4}$ Lin. dick)	vermehrt
a.	„	(Scheibe 15 Lin. Durchm., 3 L. dick)	vermehrt
B.	Paraffin[1]	(Scheibe 54 „ „ $5\frac{19}{24}$ L.dick)	vermehrt
b.	„	(Scheibe $29\frac{1}{2}$ L. „ $3\frac{1}{2}$ „ „)	vermehrt
β.	„	(Scheibe $27\frac{1}{2}$ „ „ $1\frac{1}{3}$ „ „)	vermehrt
C.	Guttapercha	(Scheibe 59 „ „ $1\frac{17}{24}$ „ „)	vermehrt
c.	„	(Scheibe $25\frac{1}{6}$ „ „ $1\frac{17}{24}$ „ „)	vermehrt
	Glimmer	(Rechteck 6 × 4 Zoll, 0,05 Lin. dick)	vermindert
D.	Glas	(Scheibe $25\frac{2}{3}$ L. Durchm., $1\frac{23}{24}$ L. dick)	vermehrt
d.	„	(Quadrat 48 L. Seite, 2 L. dick)	vermehrt
δ.	„	(Rechteck $9\frac{1}{3}$ × $10\frac{11}{12}$ Zoll, $\frac{2}{3}$ L. dick)	vermindert.

Die Mehrzahl dieser Versuche bestätigt also die Angabe Faraday's, dass durch Zwischenstellung einer isolirenden Platte zwischen eine elektrisirte und eine neutrale Metallscheibe, auf letzterer eine Vermehrung der Influenzelektricität bewirkt wird. Dass diese Vermehrung aber nicht eine wesentliche Eigenschaft der Isolatoren ist, zeigen schon die beiden Versuche mit der Glimmertafel und der Glastafel *δ*, die eine Verminderung der Influenzelektricität hervorbrachten, obgleich sie an Isolationsvermögen der Guttapercha keineswegs nachstanden. Dass ferner diese Ver-

1) Aus den im Handel vorkommenden Kuchen der Augustenhütte bei Bonn.

mehrung nicht ausschliesslich von isolirenden Stoffen hervorgebracht werde, lehren die folgenden Versuche, in welchen dieselbe Erscheinung bei Anwendung von vollkommen leitenden, an isolirenden Stielen gehaltenen, Zwischenplatten eintrat.

Zwischenscheiben.	Durchmesser.	Dicke.	Influenzelektricität der neutralen Scheibe.
Stanniol	18 1/6 Lin.	0,03 Lin.	vermehrt
Messing	7 19/24 „	2 11/12 „	vermehrt
Silber	18 1/6 „	1 5/12 „	vermehrt
Kupfer	47 „	3/8 „	vermindert.

Bei den Metallen sind es, wie sogleich klar ist, allein die Dimensionen, welche die Verschiedenheit der Wirkung zweier Platten bestimmen, und es wird hier kein beobachteter Erfolg befremden können. Wenn die beiden Scheiben allein stehen, so wird die neutrale Scheibe von einer, 18 Linien von ihr entfernten Schicht positiver Elektricität erregt. Durch die Zwischenstellung einer leitenden Platte kommen in geringerer Entfernung zwei elektrische Schichten hinzu, von welchen die positiv elektrische Schicht der erregten Scheibe näher steht, als die negative. Beide Schichten enthalten eine gleiche Elektricitätsmenge, aber die Anordnung dieser Mengen in den Schichten hängt, ausser von den Dimensionen und der Entfernung der beiden Scheiben, von der Form und den Dimensionen der Zwischenplatte ab. Durch Veränderung der Dimensionen der Zwischenplatte wird ihre Wirkung auf die influencirte Scheibe in zwiefacher Weise geändert; die beiden auf ihr befindlichen elektrischen Schichten erhalten eine andere Elektricitätsmenge und Anordnung, und die Entfernung ändert sich, von welcher aus diese Schichten auf die influencirte Scheibe wirken. Man kann solche zwei Schichten angeben, deren Totalwirkung auf die influencirte Scheibe unmerklich, oder der Wirkung der ursprünglich elektrisirten Scheibe gleichartig, oder endlich dieser Wirkung ungleichartig ist. Die Frage, in welchem Sinne eine leitende Zwischenplatte die Influenzelektricität auf einer Scheibe ändern werde, die von einer

elektrisirten Scheibe influencirt wird, ist daher völlig unbestimmt. Bestimmt wird die Frage, wenn die leitende Platte nicht isolirt ist. Alsdann kommt zu der Wirkung der ursprünglich elektrisirten Scheibe die einer ungleichnamig elektrisirten Schicht hinzu, die nothwendig jener Wirkung entgegenwirkt. Wollte man aber unter dieser Bedingung die Wirkung leitender und isolirender Zwischenplatten mit einander vergleichen, so würde man einen experimentellen Fehler begehen, der nicht geringer, aber weniger zu entschuldigen wäre, als der Fehler jener frühesten Elektriker, welche Leiter und Isolatoren nach ihrem Vermögen, durch Reibung elektrisch zu werden, mit einander verglichen, ohne die Leiter zu isoliren.

Es wurde nun dem Influenzversuche seine einfachste Form gegeben, und die Wirkung nichtleitender Zwischenplatten auf denselben geprüft. Zwei Metallkugeln von $10\,{}^1/_6$ Linien Durchmesser wurden, auf dünnen Glasstäben befestigt, so aufgestellt, dass ihre Centrallinie horizontal lag und die Entfernung ihrer nächsten Punkte etwas über 7 Linien betrug. Die eine Kugel wurde elektrisirt, die andere durch einen 18 Zoll langen Drath mit dem Zuleiter eines Säulenelektroskops verbunden, und die Beobachtung in der früher beschriebenen Weise ausgeführt. Jede Zwischenplatte wurde sorgfältig in den Raum zwischen den Kugeln gebracht, so dass die Centrallinie der Kugeln durch den Mittelpunkt der Platte ging und auf ihr normal stand.

Zwischenplatte.		Influenzelektr. der neutralen Kugel.
Schellack	*A*	vermindert
„	*a*	vermehrt
Paraffin	*b*	vermehrt
„	*β*	vermehrt[1])
Guttapercha	*C*	vermindert
„	*c*	vermehrt
Glas	*D*	vermehrt
„	*d*	vermindert.

1) Eine Paraffinscheibe von ähnlichen Dimensionen, wie *β*, gab eine

Man sieht, dass Zwischenplatten desselben nichtleitenden Stoffes, aber von verschiedenen Dimensionen, die Influenzelektricität der neutralen Kugel theils vermindert, theils vermehrt haben, und ferner, wenn die früheren Versuche hinzugezogen werden, dass eine und dieselbe isolirende Zwischenplatte die Influenzelektricität vermehrt hat, als Scheiben, und vermindert, als Kugeln zu dem Versuche gebraucht wurden. Es folgt hieraus der wichtige Satz:

Der Erfolg der Wirkung nichtleitender Zwischenplatten auf den Influenzversuch hängt ab von Form und Dimensionen, sowol dieser Platten, als der zu dem Versuche gebrauchten Leiter. — Dieser Satz widerlegt auf die einfachste Art die Annahme, dass die Zwischenplatten die Influenz des ursprünglich elektrisirten Leiters direct verändern. Auf welche Weise die Wirkung der isolirenden Zwischenplatten zu Stande kommt, ist nicht direct auszumachen, weil der elektrische Zustand dieser Platten sich der Untersuchung entzieht, und es muss die analoge Wirkung der leitenden Zwischenplatten hinzugezogen werden, bei welchen diese Untersuchung ausgeführt werden kann. Es wurden die folgenden Scheiben an isolirenden Stielen zwischen die Kugeln gebracht.

Zwischenscheibe.	Durchmesser.	Dicke.	Influenzelektr. d. neutralen Kugel.
Messing	$7\frac{19}{24}$ Lin.	$2\frac{11}{12}$ Lin.	vermehrt
„	„ „	$\frac{5}{12}$ „	vermindert
Silber	$18\frac{1}{6}$ „	$1\frac{5}{12}$ „	vermehrt
Stanniol	„ „	0,03 „	vermindert
Kupfer	47 „	$\frac{3}{8}$ „	vermindert.

Hier wirkten unzweifelhaft die beiden, durch Influenz auf den Zwischenscheiben hervorgerufenen, Elektricitäten. Um die Anordnung dieser Elektricitäten im Allgemeinen kennen zu lernen, wurden die Scheiben einzeln der positiv elektrisirten Kugel normal gegenübergestellt (dass die Ver-

---

entschiedene Verminderung der Influenzelektricität; ich habe die Scheibe nicht mit aufgeführt, weil sie in der Mitte merklich dünner, als am Rande war.

bindungslinie der Mittelpunkte der Kugel und Scheibe auf letzterer normal stand), und jede Scheibe von der Oberfläche der Kugel etwa 3 Linien entfernt. Verschiedene Stellen der Scheibe wurden mit einem, durch Schellack isolirten, Stecknadelknopfe berührt, der sodann an einem Elektroskope geprüft wurde.

Bei der dicken Messingscheibe erschien auf der ganzen (der elektrisirten Kugel zugewandten) Vorderfläche negative Elektricität, die von der Mitte bis zum Rande abnahm, auf der Cylinderfläche und der Rückfläche positive Elektricität, die von dem vorderen zum hinteren Rande zunahm, und von dort bis zur Mitte der Rückfläche wieder abnahm. Eine ähnliche Anordnung fand sich auf der dünnen Messingscheibe. Auf den grösseren (Silber- und Stanniol-) Scheiben erreichte die negative Elektricität der Vorderfläche den Rand nicht mehr; es liess sich ein schmaler nicht elektrischer Ring am Rande der Vorderfläche angeben. An der grössten (Kupfer-) Scheibe endlich zeigte sich ein breiter Gürtel positiver Elektricität auf der Vorderfläche selbst. Die negative Elektricität nämlich nahm von der Mitte der Vorderfläche bis etwa 15 Linien Entfernung ab, bei 18 Linien war keine Elektricität, bei 21 Linien entschieden positive Elektricität aufzuzeigen, die bis zum Rande der Scheibe an Dichtigkeit zunahm, und von da auf der ganzen Rückfläche bis zum Mittelpunkte abnahm. Diese oberflächliche Kenntniss der elektrischen Anordnung auf den Scheiben (die durch die Anwesenheit der influencirten Kugel geändert wird) ist hinreichend, die Wirkung der Scheiben als Zwischenplatten zu erklären. Indem eine Scheibe normal zwischen zwei Kugeln tritt, von welchen die eine direct elektrisirt ist, treten auf ihr zwei gleiche Elektricitätsportionen verschiedenen Namens auf, von welchen die der Elektricität der Kugel ungleichnamige Menge jedenfalls auf einer kleineren Fläche verbreitet ist, als die mit jener gleichnamige. Ist die Scheibe sehr dünn, so liegen die beiden Elektricitätsschichten in zwei einander nahen Ebenen, die auf der Centrallinie der Kugeln normal stehen, und die ungleichnamige

Schicht wird auf die neutrale Kugel stärker wirken, als die gleichnamige, weil sie aus geringerer Entfernung wirkt. Betrachten wir z. B. die zwischen die Kugeln gestellte Kupferscheibe, so wirkt auf den nächsten Punkt der neutralen Kugel die ganze vorhandene negative Elektricität von einer Kreisfläche aus, deren Entfernung von jenem Punkte 4 Linien und deren Durchmesser 30 Linien beträgt, während eine geringere Menge positiver Elektricität von einer Kreisfläche aus wirkt, deren Entfernung von jenem Punkte zwar nur $3\frac{5}{8}$ Linien, aber deren Durchmesser 47 Linien misst. Zugleich ist die negative Elektricität da am dichtesten, wo sie der neutralen Kugel am nächsten steht, in der Mitte der Scheibe, die positive aber da, wo sie jener am entferntesten ist, am Rande der Scheibe. Die negative Elektricität übt auf die neutrale Kugel daher eine stärkere Influenz aus, als die positive, und die Influenz der direct elektrisirten Kugel wird vermindert erscheinen müssen, wie es der Versuch in hohem Grade zeigt. Ist die Dicke einer Scheibe bedeutend im Verhältnisse zum Durchmesser, so muss ihre Wirkung die entgegengesetzte sein. Bei Zwischenstellung der dicken Messingscheibe zwischen die Kugeln ist die ganze vorhandene negative Elektricität auf eine Kreisfläche von nahe 8 Linien Durchmesser verbreitet, die 5 Linien von dem nächsten Punkte der influencirten Kugel entfernt steht; eine gleiche Menge positiver Elektricität befindet sich theils auf dem Cylindermantel, theils auf der 8 Linien breiten Kreisfläche, die nur $2\frac{1}{12}$ Linien von jenem Punkte der Kugel entfernt steht. Dieser grosse Unterschied der Entfernung macht es schon für sich erklärlich, dass die Wirkung der negativen Vorderfläche der Scheibe überwogen wird von der Wirkung der positiven Hinterfläche, zumal da die letztere noch durch die ganze positiv elektrische Cylinderfläche unterstützt wird. Es muss also hier die von der Zwischenplatte erfolgende Influenz gleichartig mit der der ursprünglich elektrisirten Kugel sein, diese Influenz durch die Zwischenstellung scheinbar verstärkt werden. Bei weniger extremen Dimensionen einer Zwischenplatte

in Bezug zu der Entfernung der beiden Kugeln wird sich zwar ihre Wirkung auf die beobachtete Influenz nicht so leicht voraussagen, aber doch nach der Beobachtung durch die Anordnung der Elektricitäten auf der Platte erklärlich finden lassen.

Im Allgemeinen bringen die dünnen, breiten Zwischenscheiben eine scheinbare Schwächung, die dicken schmalen Scheiben eine scheinbare Verstärkung der Influenz hervor, welche eine elektrische Kugel auf eine neutrale Kugel äussert. Da es unzweifelhaft ist, dass bei leitenden Zwischenplatten diese Wirkung allein durch die Anordnung der beiden Influenzelektricitäten auf den Platten bedingt wird, so werden wir nothwendig darauf geführt, die Wirkung der nichtleitenden Zwischenplatten demselben Grunde zuzuschreiben. Dass auch die am vollkommensten isolirenden Körper durch die Influenz eines elektrisirten Körpers an ihrer Oberfläche mit beiden Elektricitätsarten versehen werden, steht fest, und dass diese Elektricitäten auf jeder der gebrauchten isolirenden Zwischenplatten in der kurzen Zeit zum Vorschein kommen, in welcher die Wirkung jener Platten beobachtet wurde, lehrt ein leichter sehr augenfälliger Versuch. Die 3 5/6 Linien dicke, 7 Zoll breite Schellackscheibe, oder die fast 6 Linien dicke, 54 Linien breite Paraffinscheibe, wurde zwischen einer Spiritusflamme und der Endkugel des schwach positiv elektrisirten Conductors einer Elektrisirmaschine in schneller Bewegung hindurchgeführt, so dass eine ihrer Flächen (Vorderfläche) der Kugel etwa bis einen Fuss, die Hinterfläche der Flamme einen Zoll nahe kam. Die Vorderfläche war dadurch so stark negativ elektrisch geworden, dass ein Goldblattelektroskop damit zu einer dauernden starken Divergenz elektrisirt werden konnte. Hier hatte die positiv elektrische Kugel im Augenblicke des Vorüberführens der Platte, die Vorderfläche derselben negativ, die Hinterfläche positiv elektrisirt, und die negative Elektricität war allein zurückgeblieben, da die Flamme die positive entfernt hatte. In allen oben angeführten Influenzversuchen wurde also unzweifelhaft jede

isolirende Platte, im Augenblicke, in welcher sie zwischen die beiden Scheiben oder Kugeln trat, mit beiden Elektricitäten versehen, und wir haben nur anzunehmen, dass diese Elektricitäten auf den dicken und dünnen Platten eine verschiedene Stelle im Raume einnahmen, um die verschiedene Wirkung dieser Platten erklärlich zu finden. Sind es aber die Influenzelektricitäten der isolirenden Platten, welche ihre Wirkung bedingen, so folgt, dass die Zwischenstellung dieser Platten zwischen den elektrisirten und influencirten Leiter unwesentlich ist, und die Platten bei einer seitlichen Stellung in der Nähe jener Leiter gleichfalls wirken müssen. Welchen Erfolg diese Wirkung haben muss, lehrt die Untersuchung der Influenz auf eine leitende Scheibe. Eine Kupferscheibe von 47 Linien Durchmesser wurde vor einer positiv elektrischen Kugel von 10 1/6 Linien Durchmesser so aufgestellt, dass die vom Mittelpunkte der Kugel auf die Scheibe gezogene Normale den horizontalen Durchmesser der Scheibe 9 Linien vom Centrum traf, und die nächsten Punkte der Kugel und Scheibe 3 Linien von einander entfernt waren. Die Prüfung des horizontalen Durchmessers der Scheibe ergab Folgendes: Die durch Influenz erregte negative Elektricität erstreckte sich auf der Vorderfläche der Scheibe 32 Linien weit von dem der Kugel nächsten Scheibenrande; die positive Elektricität nahm auf der Vorderfläche die letzten 10 Linien bis zum entfernten Rande, und den ganzen Durchmesser der Rückfläche ein. Würde eine solche Scheibe neben einer positiv elektrischen Kugel, die auf eine neutrale Kugel influencirend wirkt, dergestalt aufgestellt, dass die Ebene der Scheibe der Centrallinie der Kugeln parallel steht, und ihr vorderer Rand von jeder der beiden Kugeln gleichweit entfernt bleibt, so würde die negative Elektricität der Scheibe viel näher der influencirten Kugel zu liegen kommen, als die positive. Es würde also diese negative Elektricität vorwiegend influencirend auf die Kugel wirken, und die Influenz der ursprünglich elektrisirten Kugel geschwächt erscheinen. Derselbe Erfolg würde eintreten, wenn man die leitende Scheibe normal

gegen die Centrallinie der Kugeln in den Zwischenraum zwischen beiden, aber nicht so weit brächte, dass sie von der Centrallinie geschnitten würde. Dieser letzte Versuch ist unabsichtlich bei allen vorhergehenden Versuchen angestellt worden, in welchen Zwischenplatten angewendet wurden. In dem Augenblicke, in dem eine Zwischenplatte zwischen die beiden Scheiben oder Kugeln eingeführt wurde, erschien die Influenzelektricität vermindert, wie ich schon zu Anfang angeführt habe. Diese Verminderung der Influenzelektricität war bei einigen nichtleitenden Platten sogar grösser, als die darauf folgende Vermehrung bei vollkommener Zwischenstellung der Platten. Denkt man sich die untersuchte Kupferscheibe neben den beiden Kugeln so aufgestellt, dass ihre Fläche der Centrallinie der Kugeln parallel, und ihre Mitte der Mitte der Centrallinie normal gegenübersteht, so liegt der auf beiden Flächen positiv elektrische Theil der Scheibe der influencirten Kugel viel näher, als der negativ elektrische Theil; es wird daher die überwiegende Influenz auf die neutrale Kugel von der positiven Elektricität ausgehen, und die Influenz der direct elektrisirten Kugel verstärkt erscheinen. Diesen Versuch habe ich mit den früher aufgeführten nichtleitenden Platten ausgeführt. Die Scheiben wurden in die bezeichnete Lage zur Seite der 7 Linien von einander entfernten Kugeln gebracht, von deren Oberflächen sie etwa 3 Linien entfernt blieben; ich fand überall durch diese Nebenstellung die Influenzelektricität der neutralen Kugel vermehrt. Man kann also die Influenz eines elektrisirten Körpers auf einen neutralen scheinbar und in einem beliebigen Sinn ändern, ohne dass in den Luftraum zwischen beiden ein leitender oder isolirender Körper gebracht wird.

Die vorstehende Untersuchung dürfte Folgendes zur Genüge dargethan haben: Die Influenz, die ein elektrisirter Körper auf einen neutralen äussert, erfährt keine Aenderung durch einen in seine Nähe gebrachten Zwischenkörper, dieser mag aus leitendem oder nichtleitendem Stoffe bestehen. Eine Vermehrung oder Verminderung der Elektricitäts-

menge des influencirten Körpers kann durch einen leitenden oder durch einen nichtleitenden Zwischenkörper hervorgebracht werden; sie rührt von zwei neuen Influenzen her, die von dem Zwischenkörper ausgehen, und deren Totalwirkung durch die Anordnung der Elektricitäten auf diesem Körper und daher durch den Stoff, die Form und die Dimensionen desselben bestimmt wird.

Es ist hiernach kein wesentlicher Unterschied zwischen der Wirkung leitender und nichtleitender Zwischenkörper vorhanden, aber da die Anordnung der Elektricität auf ihnen in den extremen Fällen auch von ihrem Stoffe abhängt, so werden Zwischenkörper gleicher Gestalt und Grösse verschieden wirken, je nachdem sie aus leitendem Stoffe bestehen oder nicht. Diese verschiedene Wirkung wurde besonders deutlich, als der Zwischenkörper in den Raum zwischen dem influencirten und neutralen Körper gebracht war, und erhält durch die bekannte Eigenthümlichkeit der Leiter und Isolatoren ihre Erklärung. Bei den leitenden Körpern wird die Anordnung der erregten Elektricitäten allein durch die anziehenden und abstossenden Kräfte dieser Elektricitäten und der erregenden Elektricität bestimmt, bei den nichtleitenden auch noch durch den Widerstand, den die Materie der Bewegung der Elektricität entgegensetzt. Bei einer leitenden Scheibe z. B., die durch eine ihrem Mittelpunkte normal gegenüberstehende positiv elektrische Kugel influencirt wird, liegen die am stärksten positiv elektrischen Stellen in allen Fällen am Rande, bei einer nichtleitenden Scheibe können sie entfernt davon liegen. Benutzt man daher eine Scheibe, deren Durchmesser successiv immer grösser genommen wird, als Zwischenplatte zwischen einer positiv elektrisirten und einer neutralen Kugel, so wird, wenn sie aus leitendem Stoffe besteht, die auf ihr erregte positive Elektricität früher aufhören, den überwiegenden Einfluss auf die neutrale Kugel zu üben, als in dem Falle, dass sie aus nichtleitendem Stoffe besteht. Bei den leitenden Scheiben wird demnach leichter die der ursprünglich elektrisirten Kugel ungleichnamige Elektricität

zur sichtbaren Wirkung kommen, also die durch diese Kugel ausgeübte Influenz scheinbar geschwächt werden, bei den isolirenden Scheiben leichter die gleichnamige Elektricität wirken, also die Influenz der Kugel scheinbar verstärkt werden. Es würde zur Classificirung der Isolatoren von Interesse sein, die kleinsten Dimensionen zu vergleichen, bei welchen Scheiben aus verschiedenem isolirenden Stoffe die Influenz bestimmter Körper merklich vermindern, wenn nicht die Leitung der Elektricität an der Oberfläche der Isolatoren diese Vergleichung sehr prekär machte. Glas, Glimmer, Schellack leiten an der Oberfläche besser als im Innern, Guttapercha schlechter, und diese Leitung ist auch durch die grösste Sorgfalt bei Behandlung der Platten nicht so constant zu erhalten, dass nicht dieselbe Zwischenplatte zu verschiedenen Zeiten eine merklich verschiedene Wirkung äusserte. Die Untersuchung einer Platte in der Art, dass sie als Zwischenplatte gebraucht wird, ist viel feiner, als die directe Untersuchung an einem Elektroskope, und gibt Unterschiede der Leitung an der Oberfläche an, die jener vollkommen verborgen bleiben.

Zwei Briefe von Michael Faraday und dem Verfasser.*

On the action of non-conducting bodies in electric induction.

The accompanying letter explains itself. I have received a most kind answer from M. Riess, which I wish added to it. I have altered the English of the answer a little, chiefly in single, small words, and only in those cases where I thought the alteration would make the author's meaning more clear. Certain expressions of M. Riess almost ask for a reply. In respect of these cases, and to remove am-

* Philosophical Magazine 11. 1. (1856).

biguity as to my own meaning, I have ventured to add some foot-notes; but I trust they will be received, not as exciting discussion about hypotheses, but simply in explication (to the reader) of my own view. It is not the duty or place of a philosopher to dictate belief, and all hypothesis is more or less matter of belief; he has but to give his facts and his conclusions, and so much of the logic which connects the former with the latter as he may think necessary, and then to commit the whole to the scientific world for present, and, as he may sometimes without presumption believe, for future judgment.

My dear M. Riess, London, Nov. 19, 1855.

I have only just arrived at the knowledge of a paper written by you on the action of non-conducting bodies in electric induction; for though I had seen it[1]) in Poggendorff's *Annalen*, I could not read it. A translation has, however, appeared in the Philosophical Magazine for June of this year, vol. ix. p. 401, and by it I find that I have failed to convey to your mind (and therefore, perhaps, to the minds of others) my true meaning; so that what you think to be my view, is in some very important points absolutely the reverse. You will not wonder that I am anxious to set myself right in such a matter with one who holds your high position in science. For that purpose I must refer to the pages of the Philosophical Magazine; for though I am not a judge of the strictness of the translation, I have no other means of access and reference to your paper.

At the bottom of page 402, the paper says that Faraday has endeavoured to establish the notion that „induction is not produced by the action of electricity across space, but that an electric body acts *only* on the contiguous particles of an insulating medium," &c. If you refer again to my papers, you will find that in the very beginning of that on induction (1165.) I have especially limited the cases to

1) Die vorstehende Abhandlung.

those of *ordinary induction*, i. e. cases where matter is present; at (1215.) this expression is repeated; and again in vol. ii. Exp. Res. p. 267. Instead of saying that induction cannot occur across space, I have especially spoken of the case of a vacuum (1613—1616.), which case is enlarged upon in a letter to Dr. Hare, vol. ii. Exp. Res. p. 262. 266.

At p. 403, Phil. Mag., your paper says, „It follows from other experiments made by Faraday (1218.), that the induction would have been diminished had a conducting plate been introduced between the two; for, *according to Faraday's opinion*, the introduction of the conducting plate would have caused the induction to take place in curved lines around the edges of the plate, instead of in right lines through the intervening stratum of air." If this translation conveys your meaning, then I cannot find out what expression of mine has led you to suppose the above is my opinion. I have nowhere said or implied that the interposition of such a plate would have diminished the induction, or made it take place in lines only round its edges, or more curved than before. On the contrary, I know that because of such a plate more lines of force would have passed to the space occupied by it than before; that as far as regarded that portion of space, induction would be replaced by the better function of conduction; that instead of interfering with induction, it would have favoured the final result, although that result would be complicated by the form and size of the plate, the distances of it and the acting bodies, and by other circumstances, as your paper well shows.

The case of mine to which your paper refers as above (1218.), is one of those which I sought for as establishing the *possibility* of induction in curved lines, and is not given as a proof that it must *always* be in curved lines, which is very far from my thoughts. In it the metallic piece (ball, hemisphere or plate) referred to is *uninsulated*, not insulated (1218—1230). It is also the conductor upon which the induction terminates, and not a conductor

interposed in the course of the induction; cases so different, that much of the reasoning which belongs to one has no relation to the other. The latter case is not specifically referred to in the Experimental Researches, because I thought it thoroughly well known, but it is given in my letter to Dr. Hare, vol. ii. of collected papers, p. 263.

Perhaps the following mode of putting the matter will make my views on this point clear to you. Let P be an insulated charged body, inducing upon N an uninsulated metallic body, *np* being at first away. Then let *np* be introduced, being a non-conductor equal to shell-lac or sulphur, but of the same specific inductive capacity as air; no change of the disposition of the forces will take place, for the particles of *np* will be polarized just as the particles of the air displaced by it were. Then consider *np* to be endued with conducting power, as if it were converted into a metal; its particles will now discharge to each other; the parts at *n* and *p* will be more negative and positive than they were before, because the sum of induction distance between P and N is shortened by the diameter of *np*, and so the induction is stronger; and instead of the lines of force from P to N passing round *np* (as your paper makes me to say), *more* will fall upon and pass through the space *np* now that it is a conductor than before when it was an insulator (1326. 1337. 1338.). I am sure I need make no further reference to these points, for I am satisfied that when you look at the paragraphs 1218. to 1230, and perhaps also to vol. ii Exp. Res. p. 279—284, you will at once see what my meaning was, and what my views are. The results according to them are precisely such as you describe at pp. 406, 407, Phil. Mag.



In your paper (Phil. Mag. p. 410), you describe an experiment which I know well, and consider as one of the strong proofs of the truth of my views. A plate of shell-lac is placed with its anterior face 12 inches from the po-

sitive knob of an electrical machine, and its posterior face 1 inch from the flame of a spirit-lamp, and then moved about before it; when taken away and examined, the anterior face is found by you charged negative, and hence you conclude, that, prior to the discharge of the posterior face by the flame, the induction had rendered the anterior face of the shell-lac negative, and the posterior face positive, just as would have happened with a metallic plate, and as far as I understand your paper, by a like act of conduction through its mass. Now my view of the induction agrees with yours as respects the anterior and posterior faces of the shell-lac plate; but it differs in two important points: it assumes that if the plate be supposed to consist of an infinite number of parallel plates, each composed of a single layer of particles, each plate has its anterior negative, and its posterior positive surfaces; and that the outer posterior positive surface is not the consequence of the transmission of electricity by the intervening *conducting* particles between it and the anterior negative surface, but of a transmission of the force by the polarity of the *insulating* particles. Upon so stating the case, one or two considerations arise fitted to test the relative value of the two views, and as yet they confirm me in mine.

If the shell-lac plate had had its anterior surface charged negatively, as the like surface of a metallic or conducting plate would have been, then that surface should not have remained exclusively charged on the removal of the plate from the induction; the shell-lac plate, like a conducting plate, should have been found charged over both faces and all its surface; for the same conduction which would permit the flow of electricity under induction, would permit the return to all parts when the induction was removed. As conduction cannot be assumed for one part of the experiment and refused for the other, so I find this consideration alone fatal to your view, as I understand it from the translation.

The second consideration is of this kind. If the shell-

lac plate whilst in the inductive position be considered, according to my view, as a mass of non-conducting particles polarized, then the action of the spirit-lamp flame will have been to convey, by convection, negative electricity to the posterior surface of the plate, to neutralize for the time its temporary constrained induced positive state; and it is *that* surface which (after the removal of the plate from the induction, and the return of the constrained state now no longer sustained by P) is to be considered as negatively charged, and not the anterior surface, the latter now being only held in a relatively negative state by the still remaining polarity of the particles between it and the really charged posterior surface. So, apart and beyond the argument derived from conduction, other determining considerations may thus be raised. If your view be the correct one, it is the anterior surface only which is charged negatively, and that by an inductive action half discharged; in my view, it is the posterior surface which has that state conferred on it by *convection* from the flame: — in your view the inner parts of the plate are in their natural condition; in my view they are still polarized, being retained in that condition by the posterior negative charge. Happily the question whether it is the anterior or posterior surface which is negatively charged, may be solved, though not by the indifferent approach of either side of the plate to a gold-leaf electrometer; for with either side, indications of negative electricity will be obtained; and if the excited surface be in both cases at equal distances from the electrometer plate, the action will be greater (because of specific inductive capacity) when the body of the shell-lac plate intervenes between the cap and the excited surface than when air only is interposed.

To make these points clear, once for all I will describe the plates I have used; and for easy reference to position, will give a diagram of the forms of experiment. One plate was of shell-lac, 4 1/2 inches square and 0·9 of an inch thick; the other was of sulphur, 5 inches square and 0·8 of an inch

thick. A strong white silk thread was made fast round the edges of each plate, and then a long loop of the like silk being fastened at the two corners of one side-edge, and a like loop at the two corners of the opposite side-edge, the two loops served as handles by which the plates could be insulated, and yet carried about or applied in any position to the electrometer. In the figure, S is one of these plates supposed to be seen edgeways; P represents the inductric or originally charged body, and N (whether flame, point, hand, or ball) the inducteous body; between these two, P and N, that induction takes place to which the plate S is, as far as regards the results of the experiment, subjected, and the effects of which are to be examined. The results were precisely alike with both sulphur and shell-lac plates. If P was made negative, they were also the same, but with inverted signs. I will describe those obtained with the shell-lac, and will always call that face towards P the anterior, and the face towards N the posterior face of the plates.





Making P the end of the positive conductor of an electrical machine, and N an uninsulated metal ball or plate, then the shell-lac plate was put into its position, retained there for thirty seconds or more, was removed, examined by a gold-leaf electrometer, and found perfectly free from charge on either face or any part. The shell-lac plate was then restored to its position in the induction, and N made a spirit-lamp flame applied in the manner you describe. The shell-lac being taken away, was examined by laying the plate without friction on the cap plate of the electrometer. The shell-lac was found to give strong negative charge to the leaves, whichever face was on the cap; but the signs were much the strongest when the posterior face was in contact with the cap, showing, so far as that went, that the charge was really on that face.

According to my view of induction, that face of the plate had been charged negatively by the flame; for the portion of the induction between P and the flame could be destroyed by the convection dependent on the latter where air only intervened between it and towards P; but as the air in the direction of the induction terminated at the posterior surface of the shell-lac, so the flame could convey its state of charge to that surface only, the insulating power and solidity of the shell-lac preventing further changes in that direction; hence the result already described. As the flame had power to charge the posterior surface, so it can discharge it, and accordingly by moving the flame for a moment parallel to that surface, and about an inch from it, the plate will be entirely discharged. The previous state of negative charge on the posterior surface of the plate will, if wished, remain for a minute, or two minutes, or even five or ten; and yet the momentary use of the flame discharges it entirely. The result accords perfectly with my view, but, as it appears to me, is entirely opposed to yours. Nor can I see how the assumption of any degree of conduction in the shell-lac, compatible with the acknowledged facts dependent on its insulating powers, can explain the result.

But it may be said, that the second application of the flame, instead of discharging the negative posterior surface, has really charged it positively to an amount equal to the supposed negative charge on the anterior surface, and so covers the effect of the latter more or less according to the thickness of the plate; and then the question is, is the plate entirely discharged, or is it now doubly charged, *i. e.* with one surface positive and the other negative? I find it to be *entirely* discharged; for if I place either surface on the cap plate of the gold-leaf electrometer, and then carefully bring an uninsulated metallic plate to the other surface, I find no effect on the electrometer; whereas there would be such an effect if the plate had been charged as a Leyden jar.

Or it may be supposed that the second application of

the flame, though applied on the posterior side of the shell-lac, has somehow or other discharged the negative anterior surface. This is easily shown not to be the case, by the application of the flame on the anterior side, and then still stronger proofs than those already obtained appear against your view and for mine; for according to my view, such an application of the flame ought to cause the anterior face to acquire a positive charge, inasmuch as a second case of induction is set up, in which the posterior negatively charged face of the shell-lac is the inductric body, to which the flame plays the inducteous part as before, and by its well-known powers of convection transfers its state of charge to that surface of the shell-lac (formerly the anterior) now opposed to it; whereas on your view it ought to be simply discharged. The shell-lac plate was therefore placed before the charged body P, and the flame moved about before its posterior surface; then the plate was taken out of the inductive position and the flame moved before its anterior surface; after that it was examined by the electrometer. When the anterior face was on the cap plate of the instrument, the latter indicated a positive charge; when the posterior face was in contact with the cap, the instrument indicated a negative charge, being the same kind of electric charge for that face as before, but much weaker. The apparent weakness ought to occur, for now the negative charge of the posterior face is exercised inductively through the shell-lac towards the positive charge of the anterior face, and *vice versâ;* and this was proved to be the case by bringing the hand or an uninsulated metallic plate towards the upper anterior surface, whilst the posterior surface was in contact with the electrometer cap; for the negative divergence of the gold leaves then increased very greatly, the negative electricity being set free to a large extent from the induction of the positive anterior surface. And when the positive anterior surface was in contact with the cap of the electrometer, its highly charged condition could be exhibited in like manner. So the flame, carefully approached,

can only discharge the side which has received a charge, and that only if approached on that side; if brought opposite the other side, it conveys to it the opposite electricity and leaves the plate doubly charged.

These experiments are by no means difficult or delicate, and are easily made in the most convincing and varied manner (a few simple precautions being taken), but always with the same results. P or the inductric body is best if of large surface. An excited glass rod, or, better still, an excited plate of gutta-percha (a shoe sole), are very good for the purpose; either may be brought to within an inch of the shell-lac or sulphur S, and still communicate no charge to it if discharging conductors be not near. A fine metal point may be used at N instead of the flame; or even conductors and contact be employed, as in the following manner. A sheet of gold-leaf was laid on the cap plate of the electrometer; P was put into place, and also the shell-lac or sulphur plate S, and the flame applied for a moment at N; then the plate S was removed and placed with its negatively charged posterior surface in contact with the gold-leaf on the electrometer; immediately the latter showed a strong divergence (often more than the instrument, though very large, could bear); but besides that, if an uninsulated wire was brought towards the cap or gold-leaf, the charged posterior surface was discharged with a spark, and the electrometer and shell-lac were left perfectly uncharged. It is but a very small step to coat the posterior surface with tinfoil beforehand, and then all the experiments can be repeated, using contact with an uninsulated body instead of the flame. Another step led to the coating of the anterior surface; the induction within the shell-lac between these surfaces and perpendicular to them being precisely of the same kind as if these coatings were away. If S, or the inducteous body, be made one that cannot at a distance communicate a charge to the posterior coating, being, for instance, an uninsulated metal ball or plate, then each of these coatings has for the time a polar condition

like that represented by *np* in the first diagram of this letter, *i. e.* their anterior surfaces have negative charge, and their posterior surfaces positive charge, when a positive inductric body P is employed, and so long as the induction continues.

I think you doubt the existence of specific inductive capacity. You obtain the effects which I refer to it, but seem to explain them by some act oft conduction in the shell-lac, like that in interposed metallic plates; indeed, by the same act as that which you suppose confers the assumed negative state on the *anterior* surface of the shell-lac plate. Now if any of the induction effects be due to such a conduction, this latter quality ought to appear in very numerous and various forms of experiment, especially if *time* be taken into account. I have taken the plate of sulphur, set it before P, applied the flame before the posterior surface, removed the plate, applied the flame before the anterior surface, and thus charged the sulphur negative and positive on the two sides, as before described, in less than four seconds, and to a considerable degree. That charge, thus quickly gained, the sulphur has retained apparently unimpaired for several minutes, and at the expiration of several hours it was still strongly charged. Now how could any conduction within the mass of the sulphur (of the nature of that which occurs in metals) have caused the appearance at its surfaces of the two electricities in a moment or two, and to twice the amount of what would have been evolved if air had been there, which conduction was yet not competent to effect their return in a period many hundred times as long? We have reason to believe that induction is sensibly instantaneous; for if we take the sulphur plate coated over the middle part of each face, and place a large metallic ball or plate for P opposite to it, three successive contacts, one to touch P and charge it, the second to touch for an instant the coating on the posterior surface of the sulphur, and the third to touch P and discharge it, are sufficient to put on the full inductive

state through the sulphur and secure the resulting charge. By the use of a finger key these contacts can be made in in the fiftieth part of a second, and by a little mechanical arrangement even much quicker; yet as far as I can find, the coated sulphur surface is as fully charged in this brief period as if the induction had been sustained for a minute or an hour. How are we to conceive that any degree of conduction of the sulphur consistent with the prolonged insulation which can follow, can have concurred to this brief and complete act?

The foregoing results appear to me to be crucial in their character, and to leave no question open as to the possibility of the action of interposed insulating matter being of the same nature as the action of interposed conducting matter in cases of induction. I would go further into them in explanation and illustration of my own views, and of the truthfulness of specific inductive capacity, if I thought it necessary; but I should have little more to do than repeat what is already said (and that many years ago) in the Eleventh Series of the Experimental Researches, and so I refrain.

The effect you mention at the bottom of page 404 and top of 405, Phil. Mag., is to me a very natural result of the high specific inductive capacity of shell-lac. In one place you say, in relation to it, that „no reason can be assigned why a *small piece* of shell-lac,“ &c.; but I cannot consent to accept that as a small piece which is in reality a small portion, not separated, of a large piece; as I could not say, that that was a small piece of metal which is only a small part of a large plate. A greater inductive capacity disturbs the lines and distribution of force in a manner equivalent to a certain amount of conductive power; and yet the two effects may be perfectly distinguished by such experiments and reasoning as that I have just applied to the examination of the condition of the shell-lac plate.

You will see, my dear Sir, that I am anxious to stand rightly before you; at the same time I would not have

presumed thus far if I had not believed that there was some great misapprehension in your mind as to my opinions. You will perceive, also, that I find no-reason to change any of my views of static induction as set forth in Series XI. I must confess, that as your paper has appeared in Poggendorff's *Annalen* and in the Philosophical Magazine, I should not like the case to remain before the scientific world just as it is, as it might be thought I acquiesced in the statements there made; and if I might suppose it would not be disagreeable to you I would put this letter into the Magazine, unless, indeed, you preferred some other mode of communication with the public. In the mean time I shall send it to you; and as many months have now elapsed since the publication here, I hope you will give me an early note saying whether you object or not.

I am, yours very truly,

Prof. P. Riess, M. Faraday.
&c. &c. &c.

My dearest Sir, Berlin, December 10, 1855.

In replying to the letter with which you have honoured me, I must at first claim your greatest indulgence for my English. I mean not the errors which are easily corrected, but the improper choice of words, which in theoretical controversies is of consequence, and which I have no hope to avoid. Before I enter into the discussion of your remarks concerning my paper on induction, it may not be improper to say a word upon the old theory of static electricity.

It appears to me, that a theory of a branch of the experimental sciences should be deemed good, and not be abandoned, so long as it is sufficient to account for all facts known by applying a simple principle, be it paradoxical or not, and so long as it comes not in contradiction with itself, or the theory of a congenial branch. The old theory of light has been abandoned, not because its principle of the emission of myriads of particles of light, endued with the

greatest velocity and many perplexing properties, was highly paradoxical, but because it was found incompetent to account for the great class of phaenomena of diffraction and polarization. I see not the like in the old theory of electricity. It assumes, indeed, the action at a distance, and I agree entirely with you that such an action is extremely difficult to conceive; but admit we not the like in the great theory of gravitation? and admit you not also this action in an extraordinary case of induction in electricity? The action at a distance consists here in the attraction of electricity of one kind, and the repulsion of the other in every particle of matter, and is unlimited; that is to say, if an electrified particle E acts upon a particle of matter A, and a particle of matter B is placed anywhere, the action of E upon A is not hindered nor weakened, and exists in the same amount as before. These premises granted, the theory accounts for the phaenomena of static electricity in the simplest manner. All these phaenomena are instances of the arrangement of electricity upon the surface of bodies, and their arrangement is made dependent upon the equilibrium of a number of forces which the electric particles exercise mutually on each other. Thus the electrostatic problems are changed into problems of pure mechanics, and the principles of this science find their application. The advantage of this method is very great; it gives the result of each experiment as the sum of single actions, which the mind conceives without difficulty, and leaves to mathematics the pains to sum up the single effects and to give the amount of the sum. If their summation is often too complicate to be completely effected, I think that not a fault of the theory, especially as it is in most cases not difficult to imagine, by means of general considerations, the final result. Therefore I have long ago defended this theory against its — indeed not very dangerous — antagonists, and I could not abstain from continuing the defence, when an adversary arose in the man whom I venerate as the greatest natural philosopher of the age.

Upon your first remark I reply, that, writing on a case of induction in air, I gave your opinion on that induction, and avoided intentionally to mention your opinion on a case which had not occurred; for had I mentioned it, I would have been forced to add, that you admit solely a *limited* action at a distance[1]), and to explain, that this presumption in respect to the case in hand is of the same consequence as if you denied that action altogether.

In respect of the reproof made in the second remark, that I have misrepresented your meaning on the action of the conducting intermediate plates in induction, I must be the more anxious to disculpate myself, as, if I am not mistaken, this disculpation hits the very root of all differences between your theory of induction and the old one. I have said, it follows from your experiments that the introduction of a conducting plate between an inductric and an inducteous body would have diminished the action of the former upon the latter, because this action, according to your opinion, would pass in curved lines instead of in right lines through the air. In the experiments referred to, a rubbed shell-lac cylinder, and in contact with it an uninsulated metallic disc, had been employed, and a *fact of proof* is given (Exp. Res. 1221), „that the induction of the shell-lac acts not through or across the metal.“ This fact of proof consists in the observation, that a carrier ball receives inducteously no charge, or a weak one, if it is applied to the centre of the upper face of the disc, where the carrier is nearest to the inductric, and no straight line can be drawn between both except through the metal; and the observation that the carrier receives a strong charge in the air at some height above the centre of the disc. Hence you conclude „that the induction[2]) is not through the metal, but through the surrounding air in curved lines.“ I thought

1) My view puts no limit to the action which is not paralleled in the case of light; where matter is, it is included in the action; where it is not, the action is considered as going on without it. — M. F.

2) On the further side, the metal being always uninsulated. — M. F.

myself entitled to presume that you would make the same conclusion from the same fact of proof in experiments of a varied form, and I thought it the more, as I saw no other way to account for this fact according to your theory. When the rubbed shell-lac cylinder is replaced by an electrified metallic globe, and a sufficiently large metallic plate is placed at some distance above the globe, the carrier receives only a weak charge from the centre of the upper surface of the plate (which is not in sight of the globe), and an increasing charge if it is raised. If the plate is insulated, the carrier must not be applied to the plate, but the charge increasing with the elevation of the carrier above the centre, and the maximum of it in a certain height, is still remarked. Hence I conjectured that you would consider the action of a metallic intermediate plate between an inductric and an inducteous body as *screening* the latter from the induction in straight lines of the former[1]); and I was confirmed in my conjecture by § 1681[2]), where you say „that the electric power is limited and exclusive." Surely you will find this conjecture not to be an unfounded one, if you call to mind that the philosophers who have adopted your views on induction have made the same. Melloni has believed to screen his electroscopes from the induction of a conductor by the interposition of a metallic plate between both; and De la Rive relates with the same meaning the experiments with your differential-inductometer in his *Traité d'Electricité*, vol. i. p. 131 (of which an English edition exists, which I have not seen). He says, „Si on interpose une lame métallique soit isolée, soit mieux encore, communiquant avec le sol, entre A (the positively electrified inductric plate) et B (the

1) If uninsulated, yes; if insulated, no; — as regards the final result of all the actions (inductive and conductive) on the inducteous body. — M. F.

2) „(1681.) A striking character of the electric power is that it is limited and exclusive, and that the two forces being always present, are exactly equal in amount. The forces are related in one of two ways: either as in the natural normal condition of an uncharged insulated conductor, or as in the charged state, the latter being a case of induction." — M. F.

inducteous, which has been touched before), aussitôt B donne des signes d'électricité négative très forte, qui proviennent de ce que *l'induction cessant d'agir* sur elle, etc. Ainsi, mettre un disque métallique entre A et B, cela revient a remplacer B par un autre disque plus rapproché de A qu'il ne l'était, et par conséquent le *soustraire à l'induction* de A."

The metallic intermediate plate, insulated or not, is here said to have withdrawn a body from the induction; it is regarded as a screen which intercepts the electric induction; as an opake body intercepts the light. I am extremely gratified that you partake not of this view, but I must confess that I cannot see how to account, by the manner exposed in your letter, for the results which I have obtained with intermediate conducting plates. Let P be the originally electrified globe, N the uninsulated globe induced, *np* the metallic insulated disc (edgeways seen), so interposed that the line joining the centres of the globes passes perpendicularly through the centre of the disc. According to your view, the faces *n* and *p* of the disc are more negative and positive than when the disc was of atmospheric air (*i. e.* the metallic disc away), and the induction on N must be stronger than before. But really this is not always the case: the induction on N appears strengthened or diminished, according as the intermediate metallic disc is small or large, is thick or thin. I am not able to find by your reasoning what difference should occur when the disc *np* with the same diameter has a thickness of 0·25 or of 0·04 of an inch. It seems to me, that in both cases the electric state of the faces *n* and *p* should be greater than with the air-disc. However, with the thick metallic disc the induction on N appears greater, with the thin disc less, than in the case where no disc is present (p. 408 of my paper)[1]. When the thick disc is employed,

P *n*|*p* N

1) The induction of P is in my view not exclusively upon N, but upon all surrounding bodies, even to the walls of the room. When the metallic insulated disc *np* is changed in size, the distribution of

and therefore the induction on N appears strengthened, if we touch the disc for a moment, and insulate it again, the induction on N is diminished. If we say that the exalted state of p is taken away by momentary touch, it is to be expected that this state be fully restored at the moment when the disc is again insulated[1]). Be it as it may, I am not aware that your theory admits the action of an inductric and an inducteous body upon a third body to be independent of each other, and that is, I believe, the essential point in which the two theories differ thoroughly[2]). The old theory accounts in the simplest imaginable manner for all cases here concerned. It presumes that the three electric strata — upon the surface of the globe P, upon the face n, and the face p — act independently of each other, inducing upon the globe N. If we denote with $f(P)$, the inductive effect of the globe P on the globe N, with $-f(n)$ that of n (the sign — says that the effect is contrary to that of P), and with $f(p)$ the inductive effect of the face p, the theory asserts that in all cases the final effect on N is dependent on the amount of the sum $f(P) - f(n) + f(p)$, and leaves it to the calculation to say if the sum is greater or less than $f(P)$. In the sole case where $f(p)$ vanishes, that is to

---

the induction is changed with it. A small plate, because of its thickness of conducting matter, lessens the electric resistance between P and N, and the induction on the latter is increased. A larger plate of the same thickness, or even thicker, may diminish the induction on N by a redistribution of the forces; more induction upon surrounding bodies now taking place, because of the extension of its periphery towards them. — M. F.

1) I do not expect any restoration of the previous state of the disc, and believe I know that it will *not* occur. A momentary uninsulating touch instantly brings on a new state of the induction and of the plate, which is final and remains after the uninsulating contact is removed. The only disturbance of this state is that due to the presence of the uninsulating wire which, whilst it is there, takes part of the induction on to itself, and that caused by gradual discharge due to moisture and dust of the air and to imperfect insulation. — M. F.

2) The question to my mind is, Is the effect in the shell-lac plate np dependent or independent of internal conduction amongst its particles? if independent of internal conduction, what is it dependent on, apart from the polarity of the particles which I assume as the cause? Or again, how can conduction and insulation, considered as contingent causes, give as their result the same distribution of force? — M. F.

say, when the intermediate metallic plate has been touched or is uninsulated, it can be said without computation that the sum of inductive effects of globe and plate is less than the effect of the globe alone.

After having experimentally shown, that with conducting intermediate plates the induction can be strengthened as well as weakened, and with non-conducting plates weakened as well as strengthened, I ventured to advance the opinion, that the action of plates of whatever nature have the same cause, viz. the arrangement of the electricities of opposite kind upon the surfaces of the plates. I examined roughly (if necessary, it could be made very accurately) the arrangement of the electricities upon a metallic disc, and I concluded that the electricities are arranged in a similar manner (not the same) upon a non-conducting disc. I concede that this conclusion is not unobjectionable, but I maintain that it must be made necessarily at first, and cannot be abandoned unless it is proved false.

The simple fact, that a non-conducting body is attracted by an electrified body, shows clearly that the non-conducting matter as well as the conducting is instantaneously provided by induction with both electricities. As a more direct proof of this induction upon insulators, without an essential connexion with the subject I treated of, I have described an experiment which occurred to me and which I had nowhere found. To this supplementary experiment belongs your third remark, to which I proceed. A shell-lac disc is quickly moved once from above to below between a flame and the globe of the conductor of an electric machine (not „to and fro;“ I have indicated this error of translation to Prof. Tyndall in a letter dated 19th June). The anterior face of the disc is found to be strongly negative. You agree with me, that without the flame both faces of the disc have been instantaneously provided by induction with negative and positive electricity, but you differ from me in respect to the explication of the experiment, in respect, as you say, to the manner by which the disc has

been electrified, and the part which the flame has acted in the final result. As to the first point, a mistake must have happened, inasmuch as I have nowhere mentioned my view on the manner by which the conducting and non-conducting bodies are excited by induction. I fear that the word „distribution," whereby the German word „Anordnung" (which signifies „arrangement") has been translated, has caused the mistake. It is said (p. 412), „there is no essential difference between the actions of conducting and non-conducting bodies, but inasmuch as the distribution of electricity upon them," etc.; and further, „in conducting bodies the distribution of electricity," etc. (ibidem). My meaning is this: It is admitted that each intermediate plate, be it of conducting or of non-conducting matter, is by induction instantaneously provided with both electricities, which are arranged in a certain manner upon both faces of the plate. Upon a conducting plate I can specify by examination in every case the arrangement of the electricities, and thereby account for the action of this plate upon a body in its vicinity and induced by an electrified body. Upon a non-conducting plate I cannot examine the arrangement of the electricities, but with a presumed arrangement I can also account for the action of this plate, and therefore I must deny an essential difference to be between the action of conducting and non-conducting bodies in electric induction[1]). That the

1) Suppose a fluid insulating medium to exist between P and N instead of air, and the solid interposed plate *np* to have like insulating power and inductive capacity as the medium, as for instance shell-lac in camphine or solid sulphur in melted sulphur, are we to expect the two electricities to appear at the surfaces only of the solid plate, and not, as I suppose, in every possible section of either the fluid or the solid by planes, which, being parallel to the surfaces of the plate, or rather perpendicular to the lines of induction, may be supposed to pass between the particles and mark their separation one from the other? Would not the first supposition be, to attribute to insulating solids a power denied to insulating fluids, and would it not also be equivalent to an admission that the solid could acquire a polar state under induction which yet would be denied to its particles? As the phaenomena of specific inductive capacity are now admitted, it is very desirable that „the old theory" should state how it accounts for them in unexceptionable cases, as with sulphur or shell-lac; and also explain

manner whereby the induction is produced upon a conducting and a non-conducting plate is alike in every respect, I have neither said nor meant.

As far as regards the result, indicated in my paper, of the experiment with the flame, it is neither uncertain nor equivocal. The shell-lac disc was moved only once from above to below between the positively electrified conductor of a machine and a spirit-flame; the anterior face of it was laid with sliding contact[1]) on the knob of a gold-leaf electroscope; the disc was withdrawn and the electricity in the electroscope examined. Always negative electricity was found, weaker or stronger; the strongest, when the centre of the large disc had touched the knob, and it was care-

---

how a non-conducting plate can have the opposite electricities evolved and located upon its two surfaces without conduction; or without what I have called polarization. — M. F.

1) I gave the one motion between the inductric body and the flame, and obtained precisely the same results as those described in my letter. It is quite easy to ascertain which surface of the plate *np* is charged, and whether positive or negative, without ever making contact with the ball or cap-plate of the electrometer, by a near approach only. I believe it to be essentially necessary to avoid a sliding contact between the shell-lac plate and the metal ball of the electrometer, for I find that by employing a perfectly uncharged plate and instrument and making such a contact, electricity is excited, the shell-lac becomes positive, and the metal negative, so that the moment the shell-lac is withdrawn the electrometer diverges with negative electricity. When a charged piece of dry shell-lac, made positive by friction with metal and to a degree enough by near approach to diverge the gold-leaves of an electrometer an inch or more, is employed, I find it impossible to convey that charge to the dry instrument by friction against its metal cap; the shell-lac only becomes more positive, and leaves the instrument in the negative state: therefore I doubt the simple communication of negative electricity from weakly-charged, dry, insulating shell-lac to dry metal by friction contact; though I expect in every case excitement and evolution of electricity, and that the electrometer will be rendered negative and the shell-lac positive. — M. F.

Der Uebersetzung des Briefes ist folgende Anmerkung hinzugefügt (Poggendorff's Annal. 97. 436.):

Bei den hier beobachteten Divergenzen des Elektroskops kommt die geringe Divergenz nicht in Betracht, welche durch die Reibung des Schellacks gegen den Knopf hervorgebracht wurde. Ueberdiess fand bei den Versuchen, welche, wie oben bemerkt ist, die stärkste Elektricität lieferten, eine solche Reibung gar nicht statt. Nur der Mittelpunkt der Schellackscheibe kam mit dem Knopfe des Elektroskops in Berührung und wurde, am bequemsten durch ein Glasrohr, leicht angehaucht.

P. R.

fully breathed upon, whereof the reason is obvious. I have imputed to the flame the essential part of destroying the positive electricity of the posterior face. You have observed the fact that the posterior face is negatively excited, and you have hence drawn some consequences concerning the mode of induction on the plate which I cannot admit. The fact of the posterior face being negatively electrified appears to me a very complicated one, and resulting from one of the two following causes, perhaps from both: — First, the flame is inducteously excited by the originally electrified body and imparts its negative electricity to the posterior surface; secondly, the negatively electrified anterior face of the disc acts by induction upon the posterior face. Concerning the first assumption, I have concluded from experiments made on the electric properties of burning bodies (Poggendorff's *Annalen*, vol. lxi. p. 545), that a flame electrified by induction acts upon a body in its vicinity by means of its electricity, which is contrary to that of the inductric body. As to the second assumption, a decisive experiment, as it appears to me, has been made and described by me in vol. i. § 300 of my work on Electricity. A shell-lac disc was held, by means of a handle, freely in the air, and rubbed upon one surface (we will say, the superior) strongly with fur. Although it cannot be doubted that the superior face was negatively excited, the inferior face was found also negative. On the contrary, had the shell-lac disc lain upon an uninsulated metallic disc during the rubbing, and after that the negative electricity of the superior face was destroyed by the application of a flame (or the touching with a metallic plate, as instantly will be seen), the inferior face was found to be positive. After destroying this positive electricity, the superior face was again negative, and thus continuing, alternately one face could be made positive, the other negative. This experiment gave me the means to obtain easily an electrophorus with a positively excited cake. For that purpose the cake was laid on its uninsulated metallic mould, strongly rubbed with fur and inverted in the mould,

so that the not-rubbed face was uppermost. When this cake was covered with its covercle (a metallic disc), I had an electrophorus which gave negative electricity, instead of the common electrophorus giving positive electricity.

With respect to your fourth and last remark, I concede entirely that it is not correct to consider a small portion of a large piece of shell-lac as equal to a small piece of the same, which I have done at p. 405 of my paper. But I believe to have rendered this incorrectness innoxious by referring to the end of my paper, where I have explained why a partial introduction of the non-conducting plate between the inductric and the inducteous body apparently diminishes the induction and strengthens it by complete interposition. I still consider this opposite effect of one and the same plate, together with the fact that the placing of the plate at the side of the inductric body increases the induction (p. 411 at the bottom), very difficult to be explained by your theory of induction.

I have little hope to persuade you, my dear Sir, to modify your views on the action of insulators in electric induction, and, I confess, if I could I would scarcely wish it. The great philosopher works best with the help of his own conceptions, his selfmade tools, whose imperfections he avoids by dexterous application. But these tools, so efficacious in his hand, are not only useless but very dangerous in the hands of others, and you know what mischief, for instance, the conceit of electric screening has lately done in the hand of the since deceased Italian philosopher. You will therefore not blame me if I follow the publication of your remarks by my reply. I cannot have any objection against the mode and place which you choose for this publication, and I know that immediately after the appearance of your letter Prof. Poggendorff will give a translation of it in his „Annals“.

I am, my dearest Sir,
Yours most faithfully,
P. Riess.

Zweiter Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Entladung.

Erstes Kapitel.

Der Entladungsstrom und seine Bedingungen.

Die Schlagweite proportional der mittleren elektrischen Dichtigkeit der Batterie.*

(Zu §. 393.)

Bei den Principien, von welchen die Elektricitätslehre ausgeht, setzt man einen elektrischen Zustand der Körper voraus, der allein durch die Form der Körper und die ihnen zugetheilte Elektricitätsmenge bedingt wird. Es wird dabei abgesehen von der Influenz, welche neue Elektricitätsmengen und eine veränderte Anordnung der ursprünglich mitgetheilten Elektricität hervorruft. Sollen jene Principien in Versuchen gefunden werden, so hat man den wirklichen Zustand der Körper zu berücksichtigen, also die durch Influenz hervorgebrachte Aenderung des gedachten Zustandes in Rechnung zu setzen. Dies ist aber zur Zeit nicht möglich, da selbst bei Kugeln die mit der Entfernung veränderliche Influenz nicht berechnet werden kann, und man

---

* Poggendorff's Annalen 106. 649.

ist genöthigt, die Versuche so zu beschränken, dass die Störungen durch die Influenz möglichst klein werden, und wird auch dann nur annähernde Resultate erwarten. Dies ist durch die einfachsten Beispiele zu erläutern. Niemand zweifelt daran, dass gleichnamig elektrisirte Körper einander abstossen, aber aufzuzeigen ist dies Gesetz nur in beschränkten Versuchen. Es müssen gleiche Kugeln dazu gebraucht werden, die, an vollkommen gleich gut isolirenden Stützen befestigt, in Berührung mit einander elektrisirt sind. Vernachlässigt man diese Bedingungen, so lässt sich leicht eine Entfernung finden, in welcher gleichnamig elektrisirte Körper einander anziehen. Noch beschränkter sind die Versuche für das Gesetz der Abstossung von Kugeln nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats ihrer Centralentfernung. Man darf nur von einer Entfernung ausgehen, welche den Durchmesser der Kugeln um Viel übertrifft, die Entfernung nur in geringem Verhältnisse ändern und wird dennoch Resultate erhalten, die sich dem Gesetze nur annähern, nicht es vollständig darstellen. Ebenso verhält es sich mit dem Gesetze, das in der Ueberschrift ausgesprochen, und durch Verbindung der folgenden beiden Gesetze entstanden ist: An jedem Punkte eines elektrisirten Körpers ist die Schlagweite der daselbst vorhandenen elektrischen Dichtigkeit proportional, und: An jedem Punkte des Körpers ist die elektrische Dichtigkeit der mittleren Dichtigkeit des Körpers proportional. Versuche an einem elektrisirten Körper oder der Batterie, welche die Proportionalität der Schlagweite mit der mittleren Dichtigkeit in aller Strenge zeigen sollen, setzen also voraus, dass die elektrische Dichtigkeit an dem Punkte, wo die Schlagweite geprüft wird, allein durch die mittlere elektrische Dichtigkeit geändert wird. Dies findet niemals statt. Es ist bekannt, dass die elektrische Anordnung auf einem Körper durch Influenz eines genäherten Körpers geändert wird, und ich habe gezeigt, dass damit auch die Schlagweite eine andere wird, z. B. grösser, wenn die Schlagweite der Batterie mit einer genäherten Scheibe, als wenn sie mit einer Kugel gesucht

wird (Elektricitätslehre §. 626[1])). Sollte bei gleichbleibenden Elektroden das genannte Gesetz stattfinden, so müsste bei verschiedenen Entfernungen der Elektroden eine gleiche Aenderung der elektrischen Anordnung durch Influenz eintreten, was erweislich nicht der Fall ist. Deshalb habe ich wiederholt darauf aufmerksam gemacht[2]), dass das Funkenmikrometer keine genauen Werthe der Dichtigkeit liefert, und habe die Versuche nicht weit ausgedehnt, durch welche die Proportionalität der Schlagweite mit der mittleren Dichtigkeit der Batterie nachgewiesen werden sollte. Wir haben jetzt durch Herrn Rijke viele Reihen sorgfältig angestellter weit ausgedehnter Versuche über die Schlagweite der Batterie erhalten[3]), welche jenes Gesetz so gut darstellen, als es nur immer erwartet werden konnte. Wo Herr Rijke von der Schlagweite ½ Millim. ausgeht, lassen seine Versuche das Gesetz deutlich erkennen, und nur wo er zu Schlagweiten von 0,2 oder gar 0,022 Millim. hinabgeht, weichen sie gänzlich davon ab. Das musste erwartet werden, da die Aenderung der elektrischen Anordnung auf Kugeln durch die Influenz um so schneller wächst, je kleiner die Entfernung der Kugeln im Verhältnisse zu ihrem Halbmesser ist. Auch meine frühere Bemerkung, dass die Uebereinstimmung der Versuche mit dem Gesetze von Form und Grösse der Elektroden abhängt, mit welchen die Schlagweite gesucht wird, findet hier ihre Bestätigung. Die Uebereinstimmung erscheint in Rijke's Versuchen geringer, wo Kugeln, als wo Scheiben angewendet wurden. Als zwischen zwei parallelen Kupferscheiben von 35 Millim. Durchmesser acht Schlagweiten von ½ bis 4 Millim. genommen und die dazu gehörigen Dichtigkeiten der Batterie gesucht wurden, fand sich eine Uebereinstimmung mit dem Gesetze der Proportionalität (Tafel S. 435), wie ich sie niemals grösser erhal-

1) Es ist daselbst ein Schreibfehler zu verbessern, durch den das erste Wort S. 80 Null statt klein lautet. Es soll heissen: wo die elektrische Dichtigkeit sonst klein gewesen wäre.

2) Poggendorff's Annal. 73. 388. Elektricitätslehre §. 334. §. 393.

3) Poggend. Ann. 106. 411.

ten habe. Herr Rijke ist durch diese Uebereinstimmung nicht befriedigt worden, er bemerkte, dass die Schlagweiten schneller stiegen, als die zugehörigen Dichtigkeiten, und versuchte die von ihm angestellten Beobachtungen durch zwei neue Formeln darzustellen. In der ersten Formel (II seiner Tafeln) wird die gemessene Schlagweite um eine Constante vermehrt, und die mittlere Dichtigkeit der Batterie dieser Summe proportional gesetzt; in der zweiten (III) ist die Dichtigkeit als Ordinate einer auf ihren Scheitel bezogenen Hyperbel, die Schlagweite als die zugehörige Abscisse angesetzt. Jede dieser beiden Formeln enthält zwei durch die Versuche zu bestimmende Constanten, während das Gesetz der Proportionalität nur Eine Constante zulässt, und jene Formeln schliessen sich schon deshalb den Versuchen besser an, als das Gesetz der Proportionalität. Es ist übrigens klar, dass eine Formel, welche die Versuche in aller Strenge wiedergibt, nicht theoretisch die Abhängigkeit der Schlagweite von der mittleren Dichtigkeit der Batterie bestimmen kann, weil die Wirkung der Influenz und damit die der Form der Elektroden darin inbegriffen ist. In wiefern die Formeln des Herrn Rijke, denen er selbst keine theoretische Bedeutung beilegt, über die Aenderung der Influenz zwischen Kugeln oder Scheiben mit der Entfernung Etwas lehren können, lasse ich dahingestellt, aber empirisch können sie jedenfalls nützen. Das bei Weitem leichteste und bequemste Mittel, die elektrische Dichtigkeit einer Batterie und danach die Wirkungen ihrer Entladung zu bestimmen, gibt die Schlagweite, weil die Anwendung der Maassflasche stets eine eigenthümliche Einrichtung der Batterie und des Schliessungsbogens verlangt. Die nur angenäherte Proportionalität der Schlagweite mit der Dichtigkeit hat mich verhindert, dies Mittel anzuwenden, wo genauere Versuche verlangt wurden, und ich habe es nur beiläufig empfehlen können in Fällen, wo keine Maassflasche zur Hand ist (Elektricitätslehre §. 423). Die vielen Vertrauen erregenden Versuche des Herrn Rijke lassen eine ausgedehntere Anwendung der Schlagweite erwarten, und man

wird dabei eine der beiden von ihm gegebenen Formeln mit Nutzen gebrauchen, um die Wirkungen des Entladungsstromes als Functionen der Oberfläche und Schlagweite der Batterie auszudrücken. Dass hierdurch die Anwendung der Maassflasche bei Batterieversuchen überhaupt entbehrlich gemacht werde, glaube ich indessen nicht. —

*Den Formeln, die Herr Rijke aus seinen schätzbaren Versuchen über die Schlagweite abgeleitet hatte, habe ich eine rein praktische Bedeutung beigelegt, das heisst, sie als dienlich bezeichnet, die mit Elektroden gebräuchlicher Form und Grösse gefundenen Schlagweiten von der mittleren elektrischen Dichtigkeit der Batterie abhängig darzustellen. Indem ich jenen Formeln eine theoretische Bedeutung absprach, glaubte ich vollkommen im Einverständnisse mit Herrn Rijke zu sein, welcher die unbestreitbar die Schlagweite verändernde Influenz in seiner Abhandlung nicht erwähnt, und eine Formel, die er S. 418 für theoretisch gänzlich unzulässig erklärt, dennoch an allen seinen Versuchen prüft und erst S. 452 aus nur praktischem Grunde verwirft. Ich habe also, um meine Meinung zu wiederholen, das schon von meinen Vorgängern angenommene Gesetz der Proportionalität der Schlagweite mit der mittleren Dichtigkeit der Batterie als das wirkliche Gesetz genommen, das aber durch die Influenz der Elektroden auf einander eine nothwendige Störung erfährt, daher niemals streng in den Versuchen gefunden werden kann, und habe zur Darstellung der Versuche die Rijkeschen Formeln, und zwar nicht ausschliesslich die Formel der Hyperbel empfohlen. Hiergegen hat sich Herr Rijke ausgesprochen[1]) und, wenn ich ihn recht verstehe, so erblickt er in der Formel der Hyperbel das wirkliche Gesetz, das die Abhängigkeit der Schlagweite von der mittleren Dichtigkeit der Batterie, abgesehen von der Influenz, für Elektroden jeder Form und Grösse ausdrückt. Zur Verwerfung des alten Gesetzes soll der Beweis führen,

---

* Poggendorff's Annalen 108. 171.
1) Poggendorff's Annal. 107. 482.

dass die angestellten Versuche dem Gesetze der Proportionalität widersprechen, auch wenn man die bekannten Wirkungen der Influenz in Anschlag bringt, doch ist dieser Beweis nicht gelungen. Herr Rijke sieht nämlich einen unlösbaren Widerspruch mit dem genannten Gesetze darin, dass in seinen Versuchen die Schlagweiten in grösserem Verhältnisse steigen, als die beobachteten Dichtigkeiten, welchen Umstand ich nicht übersehen, sondern ausdrücklich in meiner Bemerkung erwähnt habe. Nur ist mir diese Abweichung von dem Gesetze nicht auffallend gewesen. In einem Aufsatze über die elektrischen Pausen habe ich gezeigt, dass der elektrische Funke erst einige Zeit später ausbricht, als die Elektroden die dazu nöthige Dichtigkeit erlangt haben, und dass, wenn diese Dichtigkeit durch Influenz gesteigert worden, vor dem Funken eine Glimmentladung eintreten kann, durch welche die Dichtigkeit vermindert wird, und zwar um mehr, als sie durch die Influenz zugenommen hatte. Wendet man diese Erfahrung auf die Elektroden der Batterie an, so folgt, dass die mittlere Dichtigkeit der Batterie vor dem Ausbruche des Funkens vermindert werden, und eine gemessene Schlagweite mit einer geringeren mittleren Dichtigkeit eintreten kann, als beobachtet worden. Ohne den durch die Glimmentladung eintretenden Verlust an Dichtigkeit würden die Schlagweiten der Batterie in kleinerem Verhältnisse steigen, als die beobachteten Dichtigkeiten, und wahrscheinlich wird auch dieser Fall mit geeigneten Elektroden sich aufzeigen lassen; mit jenem Verluste muss das Entgegengesetzte stattfinden. Denn es seien z. B. die bei den Schlagweiten 1 und 2 beobachteten mittleren Dichtigkeiten der Batterie 1 und δ, und es bezeichnen a und b bezüglich die vor dem Eintritte des Funkens verschwundenen Theile dieser Dichtigkeiten, so ist nach dem Gesetze der Proportionalität der Schlagweite mit der Dichtigkeit $\delta = 2.\frac{1-a}{1-b}$. Der Verlust a ist aber stets grösser als b, weil bei a die Elektroden in der Entfernung 1, bei b in der Entfernung 2 standen und die stärkere Influenz

bei der kleineren Entfernung stattfindet, und es wird daher δ kleiner als 2 sein. Der Gang der von Herrn Rijke beobachteten Dichtigkeiten widerspricht also keineswegs den bekannten Wirkungen der Influenz, und es ist daher kein Grund vorhanden, das bisher geltende Gesetz der Schlagweite zu verwerfen.

Die vor dem Eintritte des Funkens durch Glimmentladung herbeigeführte Abnahme der Dichtigkeit ist nicht an der Batterie, sondern, was keinen Einwurf abgeben kann, an dem Conductor der Elektrisirmaschine nachgewiesen worden, hier aber in der auffallendsten Weise. Als nämlich die Schlagweite zwischen einer Kugel und einem abgestumpften Kegel von bestimmten Dimensionen gesucht wurde, fand sich eine Reihe von Entfernungen der Elektroden (zwischen $1/2$ und $2\,1/2$ Zoll), bei welchen die Dichtigkeit des Conductors unter die für Funken solcher Länge nöthige Grösse gesunken war, so dass keine Funken erschienen. Dass aber der Conductor die für diese Funken nöthige Dichtigkeit wirklich besessen und nur, ehe der Funken ausbrechen konnte, durch eine durch Influenz hervorgebrachte Glimmentladung verloren hatte, wurde dadurch bewiesen, dass eine Schwächung der Influenz zwischen den nächsten Punkten der Elektroden durch Näherung der Hand an dieselben, die Funken unfehlbar erscheinen liess. Wenn in diesem Falle die Influenz ein jedes Gesetz der Schlagweite zunichte machte, so wird man ihr wol beimessen dürfen, dass sie bei den Batterieversuchen Abweichungen von dem Gesetz der Proportionalität hervorbringen kann, welche die Beobachtungsfehler übersteigen.

Das von Herrn Rijke vorgeschlagene Gesetz der Schlagweite, auf die erwähnten Versuche am Conductor angewendet, würde so lauten: Bei Anwendung einiger Elektroden (Kugeln, Scheiben) wird die Abhängigkeit der Schlagweite von der mittleren Dichtigkeit des elektrisirten Körpers durch die Gleichung der Hyperbel ausgedrückt, bei anderen Elektroden (Kugel und Kegel) tritt eine Störung des Gesetzes durch die Influenz ein, die zur Aufhebung der Schlagweite

gesteigert werden kann. Ich glaube, dass wir folgerichtiger und deshalb naturgemässer sagen: Die Schlagweite ist der mittleren Dichtigkeit des elektrisirten Körpers proportional; dies Gesetz wird bei Elektroden jeder Form und Grösse mehr oder weniger durch die Influenz gestört, welche die Elektroden auf einander ausüben, und diese Störung kann in besonderen Fällen so weit gehen, dass nicht nur das Gesetz der Schlagweite, sondern die Schlagweite selbst gänzlich aufgehoben wird. —

*Was die Note des Herrn Rijke im ersten Hefte der Annalen betrifft, so bringt sie keine Widerlegung der Bemerkungen, die ich über die elektrische Schlagweite zu machen genöthigt war. Herr Rijke hatte in seiner sehr ausführlichen Abhandlung über die Schlagweite, deren Werth für die Empirie ich anerkannt habe, der Influenz mit keiner Sylbe gedacht; ich fand es nöthig, die Thatsache in Erinnerung zu bringen, dass die Influenz wesentlich auf die Schlagweite einwirkt. Darauf hat Herr Rijke der Influenz ganz und durchaus die Fähigkeit abgesprochen, seine Versuche zu erklären, wenn man das Gesetz der Proportionalität zu Grunde legt; es war nöthig, zu zeigen, dass die Influenz diese Fähigkeit wirklich besitzt. Jetzt nun gesteht Herr Rijke zwar die Richtigkeit meiner Bemerkungen zu, zugleich aber, dass es ihm unmöglich sei, zu glauben, die Influenz habe bei seinen Versuchen die Wirkung gehabt, die ich zur Erklärung gebrauche. Diese Wirkung sei nur eine zufällige, die vermieden werden könne, und er habe alle Versuchsreihen verworfen, bei welchen sie stattgefunden. Ich habe in der Note vergebens gesucht, wodurch diese Behauptung gerechtfertigt wird. Denn wenn Herr Rijke die Versuche ausgeschieden hat, bei welchen die Batterie den grössten Theil ihrer Elektricität ohne Funken verloren hatte, so folgt daraus keineswegs, dass in den übrigen Versuchen die ganze vorhandene Elektricität sich mit einem Funken ausgeglichen habe. Bei den Entladun-

* Poggendorff's Annalen 109. 359.

gen in tropfbaren Flüssigkeiten ist es nachweisbar, dass der Funke die Entladung niemals beginnt, sondern schliesst, und dass ihm in allen Fällen eine andere, nicht sichtbare Entladung vorangeht. Ein Gleiches für elastische Flüssigkeiten anzunehmen, ist um so mehr gestattet, da diese vorangehende Entladung in Luft in vielen Fällen nachzuweisen ist, und scheint mir keine grosse Zumuthung, wenn man damit neue Versuche mit einem alten Gesetze in Einklang bringen kann.

Der Uebereinstimmung seiner Formeln mit der Beobachtung scheint mir Herr Rijke einen viel zu grossen Werth beizulegen. Es sind (bei der Ausdehnung durch Wärme u. s. w.) genug empirische Formeln im Gebrauch, denen ihre, durch die Methode der kleinsten Quadrate gewonnene, Uebereinstimmung mit der Beobachtung keinen theoretischen Werth erworben hat, noch erwerben kann. Oder, um ein näher liegendes Beispiel anzuführen, Herr Knochenhauer hat eine Formel über die Abnahme des Nebenstromes mit der Entfernung im Lichten des Nebendrathes vom Hauptdrathe gegeben, die seine und meine Beobachtungen sehr gut wiedergibt; aber ich zweifle sehr, dass Herr Rijke in jener Formel ein Naturgesetz erkennen wird. Eben so wenig kann ich Herrn Rijke den Vorzug einräumen, den seine Versuche mit dem Sinuselektrometer vor denen mit der Maassflasche besitzen sollen. Das Sinuselektrometer wird gleichzeitig mit der Batterie geladen, und gibt ihre mittlere Dichtigkeit an, wie es die Maassflasche thut. Wenn eine Entladung dem Funken vorangeht, so besteht kein Zweifel darüber, dass sie in einer Zeit vollendet wird, die verschwindend klein ist gegen die Schwingungsdauer der Magnetnadel im Sinuselektrometer. Dann aber ist es nicht möglich, dass die Nadel die Dichtigkeit in der Batterie im Augenblicke des Ausbruches des Funkens angibt, wie Herr Rijke meint.

Nach Diesem scheint mir jetzt, wie früher, kein Grund vorhanden zu sein, das alte einfache Gesetz der Schlagweite zu verlassen. Dies verlangt zur Erklärung der Rijke'schen

Versuche keine andere Annahme, als dass eine Wirkung der Influenz dabei stattgefunden habe, die wir direct nachweisen können, wenn sie zu einiger Stärke gelangt. Diese Annahme bringt die Versuche, die durch die Formel der Hyperbel dargestellt werden können, mit denen, die von ihr abweichen und mit dem gänzlichen Ausbleiben des Funkens unter eine und dieselbe Erklärung, und schliesst sich den Erfahrungen an, die über die Entladung in tropfbaren Flüssigkeiten gemacht worden sind.

Zweites Kapitel.

Erwärmende Wirkung der Entladung.

Der Nebenstrom im Zweige einer elektrischen Schliessung.*

(Zu §. 488.)

Bei der Untersuchung des Entladungsstromes der leydener Batterie in einem in Zweige gespaltenen Schliessungsbogen hatte ich gefunden, dass das Gesetz der Stromtheilung, das an der Erwärmung der Zweige erkannt wurde, nur dann in den Versuchen rein ausgesprochen ist, wenn die Zweige nicht lang und ihre Leitungswerthe nicht allzu verschieden sind. Wurde diese Beschränkung der Versuche nicht innegehalten, so traten merkliche Störungen des Gesetzes ein, die sich durch die, auch sonst plausible, Annahme erklären liessen, dass in jedem Zweige durch den darin fliessenden Zweigstrom ein Nebenstrom erregt werde, der auf den Zweigstrom zurückwirke. Als diese Annahme durch die beobachtete Rückwirkung des in einem Nebendrathe erregten Nebenstromes auf den Hauptstrom gestützt wurde[1]),

---

* Monatsber. der Berl. Akad. der Wiss. 1859. 1.

1) Poggendorff's Annalen 83. 326.

konnte sie als indirect bewiesen gelten, zumal da die dagegen erhobenen Einwendungen theils auf einem Missverständnisse beruhend, theils als nicht stichhaltig erschienen. Dennoch lohnt es immer der Mühe, den indirecten Beweis durch einen directen zu ersetzen, zu welchem ich vor Kurzem zufällig geführt wurde; ich fand in einem Zweige einen kräftigen Nebenstrom, den ich nicht erwartet hatte, weil ich an einem einfachen Schliessungsdrathe zu beobachten glaubte. Ich will zur Einleitung diesen Versuch beschreiben, der sich zwar nicht zu genauen Bestimmungen eignet, aber durch die Leichtigkeit seiner Anstellung empfiehlt.

Die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom hat das Eigenthümliche, dass sie unmerklich ist bei sehr starkem, wie bei sehr schwachem Nebenstrome, und ihre grösste Stärke erreicht bei einem bestimmten Werthe des Nebenstroms. Um diese merkwürdige Erscheinung an der leydener Batterie aufzuzeigen, bedarf man mindestens drei einzelner Beobachtungen bei gleicher Ladung der Batterie, daher 12 und mehr Minuten Zeit, und einer messenden Vorrichtung zum Laden. Ich wünschte die Erscheinung in kürzerer Zeit und ohne wiederholte Ladung aufzuzeigen, und benutzte dazu einen elektromagnetischen Inductionsapparat, durch den, nach Koosen's Versuchen, eine leydener Flasche beliebig schnell nach einander geladen werden kann. Von dem einen Ende der Inductionsrolle wurde ein Drath zum Knopfe einer Flasche geführt (Belegung $1\frac{1}{2}$ Quadratfuss, Glasdicke $\frac{5}{4}$ Lin.), das andere Ende durch einen Drath mit einem isolirten Metallteller verbunden. Die Flasche wurde auf den Teller gestellt und so in die Inductionsschliessung eingeschaltet; in dieser Schliessung liess ich keine oder eine äusserst geringe Unterbrechung. Geht nämlich der Inductionsstrom mit Funken über, so wird zwar die Ladung der Flasche verstärkt, die in gleicher Zeit zur Benutzung gewonnene Elektricitätsmenge aber in grösserem Maasse verringert. Die Flasche erhielt eine Schliessung durch dicken Kupferdrath, von dem 53 Fuss zu einer ebenen Spirale gewunden waren; ausser-

dem befand sich in der Schliessung ein mässig empfindliches elektrisches Thermometer und eine Lücke von 0,1 Linie. Diese Unterbrechung ist, wie man sogleich sieht, nöthig, damit die Wirkung der Flasche merklich werden kann. Als der Inductionsapparat durch ein Grove'sches Element erregt war, erhielt ich, ohne Hülfe der Flasche, am Thermometer eine Erwärmung von 4 bis 6, mit derselben, von 50 bis 60 Linien. Nachdem der Stand der Flüssigkeit im Thermometer ziemlich constant geworden war, wurde der Kupferspirale eine ganz gleiche Spirale in zwei Linien Entfernung parallel gegenübergestellt. So lange die Enden dieser Nebenspirale frei blieben, war keine Aenderung im Stande des Thermometers zu merken; wurden sie hingegen durch einen dünnen 8 ½ Fuss langen Platindrath verbunden, so trat eine Verminderung der Wärme im Thermometer ein, und zugleich erfuhr der in der Unterbrechung übergehende Entladungsfunke eine merkliche Schwächung seines Glanzes. Diess war ganz übereinstimmend mit meinen früheren Versuchen an der leydener Batterie; aber im Widerspruche damit erschien die Erwärmung bedeutend grösser, wenn die Nebenspirale durch einen kurzen Kupferdrath, als wenn sie nicht geschlossen war. Am auffallendsten erhält man diese Verschiedenheit der Erwärmung, wenn man die Nebenspirale zuerst mit dem Platindrathe schliesst und die Flüssigkeit im Thermometer einen festen Stand erreichen lässt, dann die Nebenspirale öffnet, wobei die Flüssigkeit weiter sinkt, und zuletzt durch den Kupferdrath schliesst, wonach sie, da hier die stärkste Erwärmung eintritt, ihren tiefsten Stand erreicht. Den Grund der Abweichung dieser Beobachtungen von den früher an der Batterie erhaltenen suchte ich darin, dass nicht in der einfachen Schliessung einer leydener Flasche, sondern in dem Zweige einer Schliessung beobachtet worden war, und dass die beiden Zweige sehr verschieden von einander waren. Während nämlich der Zweig, in dem sich Thermometer und Spirale befand, etwa 57 Fuss maass und grösstentheils aus dickem Kupferdrathe bestand, besass der andere Zweig (den die Inductionsrolle bildete)

eine Länge von angeblich 14000 Fuss und bestand aus $1/4$ Millim. dickem Kupferdrathe. Die folgenden Versuche an der leydener Batterie setzten die Richtigkeit dieses Grundes und das Vorhandensein eines Nebenstromes im Zweige ganz ausser Zweifel.

Der Schliessungsbogen einer Batterie enthielt, ausser den wesentlichen Stücken aus dickem Messing, auf einer Holzscheibe von 1 Fuss Durchmesser eine ebene Spirale, aus 53 Fuss eines $5/8$ Linie dicken Kupferdrathes gewunden, und den Platindrath des Thermometers ($19\,1/4$ Zoll lang, 0,057 Linie dick). Jener Hauptspirale stand die gleiche Nebenspirale in 2 Linien Entfernung gegenüber, deren Enden entweder frei blieben, oder durch Kupferdrath ($10\,5/6$ Zoll lang, $5/6$ Linie dick), oder durch dünnen Platindrath ($8\,1/2$ Fuss lang, 0,052 Linie dick) mit einander verbunden wurden. Je nach diesen Schliessungen der Nebenspirale wurden im Hauptdrathe die folgenden Erwärmungen beobachtet.

I.

in 3 Flaschen Elektricitätsmenge.	Die Nebenspirale offen	Die Nebenspirale durch Kupferdrath	Die Nebenspirale durch Platindrath geschlossen
	Erwärmung im Hauptdrathe		
8	19,8	20	7,2
10	30,7	31	10,4
12	42,8	43,3	14,6
Einheit d. Ladung	0,91	0,92	0,32

Der Hauptstrom, für die in Einer Flasche angehäufte Elektricitätsmenge 1 berechnet, betrug im Mittel 91 bei ungeschlossener Nebenspirale, und würde ebenso gefunden werden, wenn diese Spirale ganz entfernt wäre. Der Strom blieb fast ungeändert, als die Nebenspirale durch den Kupferdrath vollkommen geschlossen, also der darin circulirende Nebenstrom zu seiner grössten Stärke gebracht war. Als hingegen der Nebenstrom durch die Schliessung mit dem Platindrathe geschwächt wurde, war seine Rückwirkung auf den Hauptstrom so gross, dass dieser auf 32, also fast das

Drittel seines Werthes sank. Wäre der Platindrath von bedeutend grösserer Länge genommen worden, so würde der Hauptstrom sich seinem Werthe bei ungeschlossener oder vollkommen geschlossener Nebenspirale wieder genähert, und ihn bei einer gewissen Länge des Drathes erreicht haben. Von diesem merkwürdigen Wechsel der Stärke des Hauptstroms bei Schliessung einer Nebenspirale ist niemals eine Ausnahme bemerkt worden in der grossen Zahl von Versuchen, die ich darüber veröffentlicht, und in der bei Weitem grösseren, die ich darüber angestellt habe, und nur die quantitativen Verhältnisse der Stromstärke und der zur Schliessung der Nebenspirale nöthigen Drathlängen variirten nach der jedesmaligen Anordnung des Apparates.

Es wurden zwei Punkte des Schliessungsbogens, zwischen welchen das Thermometer und die Kupferspirale lagen, durch einen 100,7 Fuss langen, 0,057 Linie dicken Platindrath mit einander verbunden, der, was hier nicht weiter zu beachten ist, auf einem Rahmen im Zickzack ausgespannt war. Es war also, statt des früheren einfachen, ein verzweigter Schliessungsbogen gebildet, in dessen Einem Zweige, der Kupferzweig heissen mag, die Spirale und das Thermometer lagen, und dessen anderen Zweig der lange Platindrath bildete. Aus drei Beobachtungen des Thermometers berechnet, ergab sich für den Strom im Kupferzweige bei entfernter Nebenspirale der Werth 29 (siehe Reihe II), also viel geringer als im einfachen Schliessungsbogen. Dass dieser geringe Werth nicht der durch den Kupferzweig gegangenen Elektricitätsmenge entsprach, war sogleich klar, wenn nicht das bewährte Gesetz der Stromtheilung gänzlich illusorisch sein sollte. Nach diesem Gesetze musste sich die entladene Elektricitätsmenge zwischen beide Zweige im Verhältnisse ihrer Leitungswerthe theilen, konnte also im Kupferzweige nur wenig geringer sein, als im einfachen Bogen, wo sie die Erwärmung 91 hervorgebracht hatte; wozu noch kommt, dass die Zeit, in welcher die ganze in der Batterie angehäufte Elektricitätsmenge entladen wurde, im verzweigten Bogen kürzer sein sollte, als im einfachen.

Besass der Strom im Kupferzweige wirklich die Elektricitätsmenge, die ihm das Gesetz zutheilte, so konnte die geringe Stromstärke durch einen Nebenstrom verursacht sein, den der Strom des Kupferzweiges in eben diesem Zweige erregt hatte. Da dieser Nebenstrom in grosser Nähe des Zweigstromes erregt war und durch den schlechtleitenden Platinzweig seinen Kreislauf vollendete, so folgt die dadurch bewirkte Schwächung des Stromes im Kupferzweige nach dem Beispiele der Reihe I. Für das Vorhandensein eines Nebenstroms gibt es aber ein untrügliches, von Faraday entdecktes Prüfungsmittel. Legt man dem Drathe, in dem ein Nebenstrom vorhanden ist, einen metallisch zum Kreise geschlossenen Drath parallel nahe, so nimmt der Nebenstrom jedenfalls an Stärke ab. War also die Schwäche der Erwärmung im Kupferzweige Folge eines darin erregten Nebenstromes, so musste diese Erwärmung verstärkt werden durch Nahelegung eines, dem Zweige parallelen, zum Kreise geschlossenen Drathes. Im Kupferzweige befand sich die ebene Kupferspirale, der in zwei Linien Entfernung eine gleiche Spirale mit jener parallelen Windungen gegenübergestellt, und durch einen kurzen Kupferdrath geschlossen wurde. Je nachdem die Spirale offen oder geschlossen war, erhielt ich im Kupferzweige die folgenden Erwärmungen.

II.

in 3 Flaschen Elektricitätsmenge	Die Nebenspirale offen	Die Nebenspirale geschlossen
	Erwärmung im Kupferzweige	
8	6,6	13,6
10	9,3	19,4
12	13,1	28,4
Einheit der Ladung	0,29	0,60

Der Zweigstrom im Kupferzweige, der bei ungeschlossener oder ganz entfernter Nebenspirale den Werth 29 besass, ist durch die Nähe der geschlossenen Nebenspirale bis 60, also dem doppelten Werthe, gestiegen. Bei einem an-

deren Versuche, wo der Platinzweig durch 53¼ Fuss eines spiralförmigen ⁵/₈ Linie dicken Kupferdraths und durch einen fast 3 Fuss langen 0,037 Linie dicken Platindrath verlängert war, erhielt ich im Kupferzweige die folgenden Erwärmungen.

III.

in 3 Flaschen Elektricitätsmenge	Die Nebenspirale offen	Die Nebenspirale geschlossen
	Erwärmung im Kupferzweige	
8	7,3	15,7
10	10,7	24,3
12	14,4	33,3
Einheit der Ladung	0,32	0,72

Der Zweigstrom im Kupferzweige ist durch Schliessung der Nebenspirale mit einem kurzen Kupferdrathe im Verhältnisse 32 zu 72 verstärkt worden. Durch jede der beiden Versuchsreihen ist der vollständige Beweis gegeben, dass im Kupferzweige neben dem Zweigstrom ein Nebenstrom vorhanden war. Auch im Platinzweige wird ein Nebenstrom erregt, ist aber, des ihn erregenden schwachen Zweigstroms wegen, nur schwach, wie die folgenden Versuche zeigen. Die ebene Kupferspirale und das Thermometer wurden aus dem Kupferzweige entfernt und durch einen 50 Fuss langen Kupferdrath ersetzt; die Kupferspirale und ein äusserst empfindliches Thermometer wurden in den Platinzweig eingeschaltet. Dennoch mussten stärkere Ladungen der Batterie angewendet werden.

IV.

in 3 Flaschen Elektricitätsmenge	Die Nebenspirale offen	Die Nebenspirale geschlossen
	Erwärmung im Platinzweige	
12	4,1	5,0
16	7,7	9,3
20	11,6	13,9
Einheit der Ladung	0,087	0,10

Der Zweigstrom im Platinzweige ist durch Schliessung der Nebenspirale mit kurzem Kupferdrathe im Verhältnisse

87 zu 100 gestärkt worden, wodurch der Nebenstrom im Platinzweige erkannt wird. Durch diese Versuche ist der Satz erwiesen: *In jedem Zweige des Schliessungsbogens der leydener Batterie wird durch den darin fliessenden Entladungsstrom ein Nebenstrom erregt.*

Die Nebenspirale, welche das Mittel zur Erkennung des Nebenstroms abgab, durfte nicht gleichgültig gewählt sein. Sie musste aus gutleitendem Drathe bestehen, und durch einen gutleitenden Drath geschlossen sein, denn nur unter dieser Bedingung bleibt die Spirale ohne directen Einfluss auf den Hauptstrom, wie Reihe I gezeigt hat. Enthält die Nebenleitung, sei es in dem der Hauptleitung parallelen, oder in einem anderen Theile, einen weniger vollkommenen Leiter, so tritt die Rückwirkung auf den Hauptstrom ein, von der in Reihe I ein Beispiel gegeben wurde. Dies zeigen die folgenden Beobachtungen, die bei derselben Anordnung der Zweige, wie Reihe II, im Kupferzweige angestellt worden sind Die Nebenspirale bestand zwar aus dickem Kupferdrathe, wurde aber durch verschiedene Längen Platindrath geschlossen. (Der Vollständigkeit wegen bemerke ich, dass die zweite Schliessung bestand: aus 17½ Fuss eines 0,052 und 4¼ Fuss eines 0,047 Linie dicken Platindraths. Die letzte Drathlänge ist 5,2 Fuss eines Drathes der ersten Dicke gleichwerthig.)

V.

Elektricitätsmenge in 3 Flaschen	Nebenspirale geschlossen durch Platindrath 0''',052 dick: 8½ Fuss	22,7 Fuss lang
	Erwärmung im Kupferzweige	
8	6,8	4,6
10	8,8	6,3
12	12,2	8,6
Einheit der Ladung	0,27	0,19

Der Zweigstrom, der bei frei liegendem Zweige den Werth 29 besass und durch Nahestellung einer vollkommen geschlossenen Nebenschliessung zu 60 verstärkt wurde (Reihe II), ist hier durch unvollkommen leitende Nebenschliessun-

gen bis 27 und 19 geschwächt worden. Diese entgegengesetzte Wirkung von Nebenschliessungen stimmt mit den Versuchen überein, die ich über die Wirkung zweier Nebenströme auf einander veröffentlicht habe[1]) und die unter Annahme einer unmittelbaren und einer mittelbaren Wirkung der Nebenschliessung auf den Nebenstrom erklärt wurden.

Die beiden in den Zweigen eines Schliessungsbogens nachgewiesenen Nebenströme verfolgen eine entgegengesetzte Richtung in demselben Ringe, der durch beide Zweige gebildet wird, beschränken sich also gegenseitig. Hieraus folgt, dass der Nebenstrom jedes Zweiges auf den Zweigstrom des anderen Zweiges in entgegengesetzter Weise wirkt, wie auf den Zweigstrom, der ihn erregt hat. Die Zweigströme, die in den vorgetragenen Versuchen durch theilweise Aufhebung ihrer eigenen Nebenströme verstärkt wurden, werden geschwächt durch Aufhebung der fremden Nebenströme. Ich brachte in jeden der beiden Zweige eine Kupferspirale mit ihrer Nebenspirale und ein Thermometer, und fand, dass die gutleitende Schliessung der Nebenspirale eines Zweiges die Erwärmung im anderen Zweige bedeutend schwächte. Dies genügt, die grosse Verwickelung zu zeigen, welche die Wirkungen der Zweigströme erfahren müssen, wenn man mit ihnen zugleich zu kräftigen von einander verschiedenen Nebenströmen Anlass gibt. So zusammengesetzte Wirkungen können nur ein geringes Interesse in Anspruch nehmen, selbst wenn es möglich wäre, sie einfachen Gesetzen unterzuordnen. Deshalb habe ich bei den Versuchen über die Stromtheilung kurze Zweige von nicht allzu verschiedenem Leitungswerthe gebraucht, wodurch die Nebenströme schwach und von einander nicht zu verschieden wurden, und es gelang mir, das einfache Gesetz der Stromtheilung aus den Versuchen abzuleiten.

Ich würde hier schliessen, wenn ich nicht befürchtete, dass der für die Nebenströme in den Zweigen gegebene Beweis deshalb nicht für allgemein gültig angesehen werden

1) Pogg. Ann. 83. 321. Elektricitätslehre §. 866.

könnte, weil ich dazu überall spiralförmig aufgewundene Dräthe gebraucht habe. Obgleich nämlich seit lange Versuche vorliegen, die das Gegentheil beweisen, wird noch immer in Abhandlungen und Lehrbüchern angegeben, dass zur Erregung eines Nebenstromes in der Masse des Stromleiters, entfernte Theile dieses Leiters einander parallel nahe gebracht, also Spiraldräthe gebraucht werden müssen. Dies ist nicht richtig. Die Spiralform des Stromleiters ist ein sehr bequemes Mittel, mit einer gegebenen Drathlänge einen möglichst starken Nebenstrom im Stromleiter zu erhalten, weil der in jeder Windung vorhandene Hauptstrom nicht nur auf diese Windung erregend wirkt, sondern auch auf alle naheliegenden Windungen. Aber zur Erregung überhaupt ist die Spiralform nicht nöthig. Wie dies von Faraday an unterbrochenen voltaischen Strömen aufgezeigt worden ist (*exper. resear. 9th series*), werden die folgenden Versuche es für den Entladungsstrom der leydener Batterie beweisen. Es lässt sich jeder Versuch dieser Abhandlung auch ohne Spiralen anstellen, nur weniger bequem und weniger schlagend. Ein mit Guttapercha bekleideter Telegraphendrath (Kupfer 50 Fuss lang, $^{17}/_{24}$ Linie dick, mit der Hülle $1\,^{5}/_{6}$ Linie dick) war in einem möglichst weiten Bogen auf dem Fussboden ausgebreitet, und wurde an der Stelle der bisher gebrauchten ebenen Spirale, in den Kupferzweig des Schliessungsbogens eingeschaltet. Neben diesen Drath wurde ein gleicher 50 Fuss langer Telegraphendrath gelegt, und mit Schnüren an ihm festgebunden, der zur Prüfung auf den Nebenstrom bestimmt war. Der Kupferzweig enthielt also, ausser dem Thermometer, nur einen Kupferdrath, dessen entfernte Theile weder parallel, noch einander nahe lagen. Der Platinzweig war, wie früher, 100,7 Fuss lang, 0,057 Linie dick. Es wurden die Erwärmungen am Thermometer beobachtet, je nachdem die Enden des Nebendrathes, der vom Zweigdrathe durch eine $1\,^{1}/_{8}$ Linie dicke Guttapercha-Schicht getrennt war, entweder frei blieben, oder durch einen $10\,^{5}/_{6}$ Zoll langen, $^{5}/_{6}$ Linie dicken Kupferdrath, oder endlich durch einen 22,7 Fuss langen, 0,052 Linie

dicken Platindrath mit einander verbunden waren. Ich gebe die einzelnen, zweimal angestellten Beobachtungen.

VI.

in 3 Flaschen Elektricitätsmenge	Der Nebendrath offen		durch Kupfer		durch Platin geschlossen	
	Erwärmung im Kupferzweige					
8	16	15,7	18,8	19,3	11	11,2
10	24,2	24,8	29	29,3	16,7	16,9
12	34	34,2	41,4	41,0	23	23,1
Einheit der Ladung	0,73		0,87		0,50	

Der Zweigstrom, der bei frei liegendem Zweige den Werth 73 hatte, ist bis 87 gestärkt worden durch einen danebenliegenden geschlossenen gutleitenden Drath. Es war also unzweifelhaft bei den Versuchen der ersten Columne im Zweigdrathe ein Nebenstrom vorhanden, der den Zweigstrom schwächte und in der zweiten Columne zum Theil aufgehoben war. Dass dieser Nebenstrom hier viel schwächer war, als bei den Versuchen mit der Spirale (Reihe II), geht nicht nur aus der hier geringeren Verstärkung des Zweigstromes hervor, sondern schon aus den Erwärmungen bei freiliegendem Zweige. Der Werth nämlich des Zweigstromes unter dieser Bedingung war dort 29, hier ist er 73, Werthe, deren Unterschied sich nicht aus den etwas verschiedenen Dimensionen der Spirale (53 Fuss von $^{15}/_{24}$ Linie Dicke) und des Telegraphendraths (50 Fuss bei $^{17}/_{24}$ Linie Dicke) herleiten lässt. Die Schwächung des Zweigstroms durch den unvollkommen leitenden Nebendrath, die in der dritten Columne erscheint, ist nicht viel geringer als in den Versuchen mit der Spirale (Reihe V), woraus folgt, dass die Schwächung nicht auf der theilweisen Wiederherstellung des Nebenstroms im Zweige, sondern auf einer directen Wirkung des Stromes im Nebendrathe auf den Strom im Zweigdrathe beruht, was auch schon für sich klar ist. Der oben aufgestellte Satz wird durch den folgenden bekräftigt: *In einem geraden, wie in einem spiralförmigen, Zweige des*

Schliessungsbogens der Batterie wird durch den darin fliessenden Strom ein Nebenstrom erregt.

Die an Zweigen erhaltenen Resultate lassen sich auf den einfachen Schliessungsbogen ausdehnen, wodurch eine allgemein gültige Regel gewonnen wird. Es ist gezeigt worden, dass in jedem Zweige, er sei gestaltet wie er wolle, ein Nebenstrom erregt wird, der eine auffallende Stärke erreicht, wenn entfernte Theile des Zweiges einander parallel nahe gebracht sind. Auch im einfachen Schliessungsdrathe der Batterie wird ein Nebenstrom erregt, wenn entfernte Theile des Drathes parallel einander nahe gelegt werden[1]). Der Strom war, selbst unter den günstigsten Bedingungen, äusserst schwach, aber es lässt sich mit Sicherheit erwarten, dass er auch bei einem gerade ausgespannten Drathe merklich sein werde, wenn man sich überaus grosser Längen bedient. Es folgt daraus eine einfache Regel, die sowol für den Hauptstrom der leydener Batterie wie für jeden andern Strom kurzer Dauer, also auch für Inductionsströme jeder Art und jedes Ursprungs gültig ist: *In jedem Leiter eines Stromes kurzer Dauer wird ein Nebenstrom erregt, der stets zu einer merklichen Stärke gelangt im Falle, dass der Leiter dem Nebenstrome gestattet, einen Kreislauf zu vollenden, oder dass entfernte Theile des Leiters zu einander in Wirkungsnähe gebracht worden sind.*

Bei der Wirkung eines Stromes kurzer Dauer ist auch die seines Nebenstromes zu berücksichtigen; doch genügt es, bei Anwendung nicht zu langer Schliessungsdräthe, den Nebenstrom nur zu beachten, wenn einer der beiden angegebenen Fälle stattfindet. Hieraus folgt, dass im einfachen Schliessungsdrathe der Batterie der Nebenstrom von Einfluss ist, wenn der Drath U- oder N-Formen enthält (zu den letzteren gehören die Spiralen), in Zweigdräthen und in Nebenschliessungen auch ohne diese Bedingung. Welche Aenderungen durch den Nebenstrom in dem ihn erregenden Strome hervorgebracht werden, der mit jenem in demselben

1) Pogg. Ann. 81. 428. Elektricitätslehre §. 856.

Drathe fliesst, habe ich früher ausführlich angegeben[1]). Die entgegengesetzte Aenderung des erregenden Stromes, je nachdem sein Leiter die U- oder N-Form besass, hat dabei gelehrt, dass jedem, durch einen Strom von kurzer Dauer erregten Nebenstrome eine bestimmte Richtung beigelegt werden muss.

Drittes Kapitel.

Magnetische Wirkung der Entladung.

Ueber den Einfluss von Metallhüllen auf die Magnetisirung durch den elektrischen Entladungsstrom.*

(Zu §. 519.)

Es gibt viele elektrische Versuche, die der näheren Untersuchung kaum werth erscheinen. Sie sind so verwickelter Art, von so vielen Ursachen abhängig, dass kein Ergebniss, falle es in dem einen oder dem entgegengesetzten Sinne aus, auf die einfache Wirkungsweise der Elektricität, auf die es ankommt, zu schliessen gestattet. Dennoch ist bei einigen jener Versuche die Mühe der Untersuchung nicht verloren, indem sie das Zusammenwirken verschiedener Ursachen thatsächlich und unzweideutig nachweist und damit verhindert, die Versuche als einfache zu betrachten und zu Fehlschlüssen zu benutzen. Ich darf in dieser Beziehung wol an meine Untersuchung der Wirkung von Zwischenplatten bei der Influenz erinnern, die, so wenig sie unerwartete Resultate geliefert hat, doch von merklichem Nutzen gewesen ist. Die irrige Meinung, dass die Influenz

---

1) Pogg. Ann. 81. 431 und 83. 327. Elektricitätslehre §. 856. §. 884 bis 894.

* Monatsberichte d. Berl. Akad. 1863. 346.

abgeblendet werden kann, wie Licht und strahlende Wärme, hat seitdem nicht wieder zu unnützen Versuchen verleitet. Als Anhang zu jener Arbeit mag man das Folgende betrachten, in welchem eine verwandte Aufgabe, freilich von bei Weitem grösserer Verwickelung, behandelt wird, die deshalb in meinem Lehrbuche nur beiläufig und kurz erwähnt werden konnte.

Bei der Entdeckung der Magnetisirung durch den Entladungsstrom der leydener Batterie (1820) gab Humphry Davy als allgemein gültig an, dass diese Wirkung des Stromes durch Luft, Wasser, Glas, Glimmer und die Metalle, also durch Nichtleiter und Leiter der Elektricität hindurch, mit gleicher Leichtigkeit statt findet[1]). Es war daher nicht auffallend, als Böckmann 1821 durch den Entladungsstrom Stahlnadeln magnetisirte, die in Wachstaft, Seide, Holz, Elfenbein oder Papier eingehüllt oder in eine dicke Bleiröhre gesteckt waren. Eine gründliche Untersuchung des Einflusses der Metallhüllen auf die Magnetisirung hat Savary 1826 gegeben[2]) und, was damals auffällig genug war, gefunden, dass man durch Wahl des Metalles und der Dicke der Hülle, diesen Einfluss in einem beliebigen Sinne wirksam finden kann. Er legte in die Drathschraube, durch welche der Entladungsstrom ging, eine Stahlnadel frei oder in eine Metallhülle eingeschlossen, und fand im zweiten Falle, je nach der Beschaffenheit dieser Hülle, den Magnetismus entweder eben so stark oder stärker oder schwächer oder endlich entgegengesetzt gerichtet, als im ersten Falle. Befand sich nämlich die Nadel in einer dicken Kupferröhre, so wurde sie nicht magnetisch durch einen Strom, der eine freiliegende Nadel stark magnetisirte. Eine Nadel mit einem Stanniolblatte vielfach umwickelt, wurde in der Drathschraube nicht magnetisch; die Magnetisirung trat ein, wenn ein Theil des Stanniols entfernt war und nahm zu mit Verminderung der Zinnhülle. So wurde eine gewisse Dicke dieser Hülle erreicht, bei der die Nadel

1) Gilbert, Annalen 71. 240.
2) Annales de chimie 34. 65.

stärker magnetisirt wurde, als wenn sie frei lag. Bei fortgesetzter Entfernung des Stanniols nahm die Magnetisirung ab und wurde zuletzt ebenso gross, wie bei der freiliegenden Nadel. Diese letzte, unwirksame Zinnhülle war um so dicker, je stärkere Ladungen der Batterie gebraucht wurden. Bei besser leitendem Metalle brachte auch eine dünne Hülle eine Verstärkung des erregten Magnetismus hervor. So war der Magnetismus einer Nadel, die mit Blattsilber umhüllt war, um ein Drittel stärker, als der einer freiliegenden Nadel. Diese Versuche wurden mit etwa 9 pariser Linien langen Nadeln ausgeführt. Nadeln von 6 ½ Linien Länge und ⅕ Lin. Dicke gaben noch auffallendere Resultate. Eine solche Nadel wurde in eine Kupferröhre, eine andere in eine gleichdicke Zinnröhre, eine dritte unverhüllt in die Magnetisirungs-Spirale gelegt. Die erste Nadel wurde schwächer, die zweite stärker magnetisch, als die freiliegende, und zugleich war die magnetische Richtung der eingehüllten Nadeln der Richtung der nackten Nadel entgegengesetzt. Bis dahin waren die entgegengesetzten Wirkungen von Hüllen verschiedenen Metalles und verschiedener Dicke ausgegangen, aber Savary erhielt jene auch von demselben Metallstücke, wenn er den Schliessungsdrath der Batterie, statt einen Theil davon spiralförmig aufzuwinden, gerade ausspannte und die zu magnetisirende Stahlnadel quer dagegen legte. Eine breite Metallplatte, zwischen den Schliessungsdrath und die Nadel gelegt, schwächte die Magnetisirung der letzteren bedeutend, wenn schwache Batterieladungen gebraucht wurden, und verstärkte sie bei stärkeren Ladungen. War hingegen die Platte jenseits der Nadel gelegt, so dass die Nadel sich zwischen dem Schliessdrathe und der Platte befand, so waren die Magnetisirungen stärker, als ohne Platte, bei schwachen Ladungen, und schwächer bei starken. War die Platte nur dünn, so erhielt die Nadel einen Magnetismus von entgegengesetzter Richtung als ohne Platte. Es erschien, als ob die entgegengesetzten Flächen der Platte entgegengesetzte Wirkung hätten. Platten von verschiedenem Metalle wirkten verschieden je nach ihrer

Dicke, Kupferplatten gewisser Dicke schwächer, als eben so dicke Messingplatten, aber dünnere Kupferplatten wieder stärker.

Eine letzte Untersuchung über die Wirkung der Hüllen auf die Magnetisirung stellte Abria 1841 an. Er steckte Nadeln in Röhren von Kupfer, Messing oder Blei von 1 bis 3 Millimeter Durchmesser; er hüllte sie in Blätter von Zinn oder Platin, aber er fand niemals andere Unterschiede der Magnetisirung, die sie in einer Drathspirale erfuhren, als solche, die auch bei unbedeckten Nadeln vorkamen. Metallhüllen verschiedener Art und Dicke erwiesen sich ihm also völlig unwirksam. Ich würde diese Versuche, die nicht an der Elektrisirmaschine, sondern an einer voltaischen Säule angestellt wurden, übergangen haben, wenn nicht ausdrücklich angegeben wäre, dass, während die Nadel in der Spirale lag, die Säule wiederholt geöffnet und geschlossen, also, wie damals schon bekannt war, die Induction in's Spiel gezogen wurde.

Alle angeführten Wirkungen der Metallhüllen bekunden auf das Deutlichste, dass dabei Magnetisirungen durch Inductionsströme zu der Magnetisirung durch den Hauptstrom hinzutreten und den endlichen magnetischen Zustand der Nadel bestimmen. Es wird bekanntlich ein Inductionsstrom im Drathe selbst erregt, der den Hauptstrom leitet, ein anderer in der Metallhülle, welche die Nadel umgibt, muthmaasslich ein dritter Inductionsstrom in der Masse der Nadel selbst. Aber mit der Kenntniss dieser verschiedenen Ströme ist die Erklärung der angeführten Versuche noch nicht gegeben; es würde dazu das Gesetz bekannt sein müssen, nach welchem die Magnetisirung einer Nadel erfolgt, auf welche mehre verschieden starke Ströme gleichzeitig einwirken. Freilich folgt unsere Unkenntniss dieses Gesetzes schon aus den seit lange vorliegenden Thatsachen, dass alle Ergebnisse über Stärkung, Schwächung und Richtung des Magnetismus einer dem Entladungsstrome ausgesetzten Nadel mit den Dimensionen dieser Nadel wechseln, und dass ein und dieselbe Nadel in einer Entfernung über

dem Schliessdrathe der Batterie durch denselben Entladungsstrom Magnetismus von einer Richtung erhält, und von entgegengesetzter Richtung in einer andern Entfernung. Ich habe indess Dasselbe noch in anderer, nicht weniger schlagenden, Weise darthun wollen und mich dazu absichtlich Nadeln gleicher, aber grösserer Dimensionen bedient, als gewöhnlich zu solchen Versuchen gewählt werden. Lange Nadeln geben in Stärke und Richtung des Magnetismus, hauptsächlich in Bezug auf letztere, Resultate von viel grösserer Beständigkeit, als die von Savary benutzten sehr kurzen Nadeln, und es werden sich, so weit ich bis jetzt erfahren habe, die von mir erhaltenen Ergebnisse der Versuche mit Sicherheit wiederfinden lassen.

Aus englischem $^{13}/_{24}$ pariser Linie dicken Gussstahl wurden Nadeln von $2\,^1/_2$ par. Zoll Länge geschnitten, gewöhnlich sechs, und zu 15 bis 20 Versuchen benutzt, ehe sie durch andere ersetzt wurden. Jede Nadel, die in einem Versuche magnetisirt war, wurde langsam durch die Flamme einer Glasbläserlampe von Ost nach West und zurückgeführt, und zu einem neuen Versuche benutzt, wenn sie am Magnetoskope eine Ablenkung gab, die einen Grad nicht überstieg. Dies Magnetoskop war aus einer Oertling'schen Bussole gebildet, deren 2 Zoll lange Nadel auf einer Spitze in einem in Grade getheilten Kreise spielte. Zehn Linien über der Fläche der Bussolnadel war von Ost nach West ein messingenes Lineal befestigt, das mit einer Rinne versehen, die zu prüfende Stahlnadel stets an derselben Stelle aufnahm, wobei die Mittelpunkte beider Nadeln nahe in derselben Vertikallinie lagen. Das eine, durch einen Sägestrich bezeichnete Ende jeder Nadel hatte stets im Schliessungsbogen der Batterie dieselbe Lage und wurde an ein bestimmtes Ende der Rinne, und nach Ablesung der bewirkten Ablenkung an das entgegengesetzte Ende gebracht, so dass die Ablenkung nach der anderen Seite erfolgte. Die Bestimmung der Richtung der Magnetisirung erhielt hierdurch eine Controle, und beiläufig auch die der Ablenkung. Das Mittel der beiden, selten um mehr als einen

Grad verschiedenen, Ablenkungen wird in den Tafeln angegeben.

Der Schliessungsbogen der Batterie, die aus drei Flaschen von 2,6 Quadratfuss Belegung bestand, wurde möglichst einfach aus dickem Kupferdrath und Messingstäben zusammengesetzt. Darin befanden sich in hinlänglicher Entfernung von einander, von Ost nach West gerichtet, zwei gleiche cylindrische Spiralen; jede hatte eine Länge von 5 Zoll 2 Linien, und war aus einem 7 1/3 Fuss langen, 5/12 Lin. dicken, mit doppelter Kautschuckhülle versehenen Kupferdrathe um eine Glasröhre in 46 Windungen schraubenrecht gelegt. Die erste, dem Innern der Batterie nächste, Hauptspirale nahm in allen Versuchen in ihrer Axe eine einseitig verschlossene Glasröhre und in dieser eine Stahlnadel auf, deren Magnetisirung zur Vergleichung mit der, in der zweiten Hauptspirale magnetisirten Nadel diente. Beide mit einander verglichenen Nadeln waren also stets durch denselben Entladungsstrom magnetisirt, der übrigens ohne Nöthigung nicht verändert wurde. Zwei Nadeln, die in beiden Spiralen lagen, erhielten durch den Strom sehr nahe denselben Magnetismus.

Zur Wiederholung der Versuche Savary's mit verschieden dicken Metallhüllen wurde eine Glasröhre von 1 1/2 Linie Dicke in einer Ausdehnung von 3 3/4 Zollen mit Stanniol bekleidet und die Dicke der Umhüllung allmählig vermehrt. Eine Stahlnadel wurde in die Röhre gelegt und diese in die zweite Hauptspirale bis zu einer bestimmten Tiefe geschoben. Die durch die magnetisirte Nadel bewirkte Ablenkung der Bussolnadel wird als normale nicht weiter bezeichnet, wenn der nach Norden sich richtende Pol der Nadel dem Ende der Hauptspirale zunächst lag, an dem der Entladungsstrom die Spirale verliess. Die entgegengesetzte Richtung der Nadel wird als anomale durch — bezeichnet, die Batterie wurde mit der Menge 10 positiver Elektricität geladen, zu deren Messung die Kugeln der Maassflasche 1/2 Linie von einander entfernt waren.

Beschaffenheit der Hülle.		Magnetisirung von Nadeln ohne Hülle	in Metallhülle
		Ablenkung der Bussole.	
Stanniol	0,01 Lin. dick.	26,3°	26,5°
	0,03	26,5	31,5
	0,04	26,2	32
	0,06	26,5	33,7
	0,10	25,8	31,2
	0,14	24	28
	0,27	25,3	26
Bleiröhre	1,00	25,7	6
Kupferröhre	0,50	27,5	2

Die Angaben Savary's finden sich hier an langen Nadeln bestätigt mit der Ausnahme, dass bei diesen eine anomale Magnetisirung nicht vorkommt. Die Wirkung einer Metallhülle von zunehmender Dicke besteht in einer anfänglichen Verstärkung des Magnetismus der dem Strome ausgesetzten Nadel bis zu einem Maximum und darauf in der unbegränzten Schwächung desselben. Es erscheinen deshalb zwei sehr verschiedene Zinndicken, von 0,01 und 0,27 Linie, ohne Wirkung, der Magnetismus der von ihnen bedeckten Nadel eben so gross, wie der der nackten. Wie Savary gefunden hatte, dass bei gut leitendem Metalle die Verstärkung des Magnetismus durch eine dünnere Hülle hervorgebracht wurde, als bei schlechter leitendem, so sieht man hier das Gleiche gelten in Bezug auf die Schwächung. Kupfer von ½ Linie Dicke verursachte eine grössere Schwächung, als Blei von einer ganzen Linie.

Den Nebenstrom, der in der continuirlichen Metallhülle der Nadel entsteht, kann man in den Windungen einer Drathschraube erregen lassen und deshalb mit dieser alle angeführten Wirkungen der Hüllen hervorbringen. Dabei hat man zugleich die Gelegenheit, den Nebenstrom von den Enden der Drathschraube weiter führen und allein prüfen zu können. Es wurde um eine enge Glasröhre, welche zur Aufnahme der Stahlnadel diente, von demselben mit Kautschuck bekleideten Drathe, aus welchem die beiden Haupt-

spiralen bestanden, eine Länge von 3 1/6 Fuss schraubenrecht zu einer Nebenspirale gewunden, die 5 Zoll lang fast ebensoviel Windungen hatte, wie jede Hauptspirale (diese 46, Nebenspirale 44). Die Nebenspirale wurde in die zweite Hauptspirale geschoben und ihre Enden mit den Enden einer ihr gleichen Spirale verbunden, die frei von Ost nach West gelegt war. Durch Entladung der Batterie wurden also gleichzeitig drei Nadeln magnetisirt. Die Nadel in der ersten, leeren, Hauptspirale wurde durch den Hauptstrom allein magnetisirt, in der zweiten, mit der Nebenspirale gefüllten, Hauptspirale durch den Haupt- und Nebenstrom zugleich, und in der dritten, frei liegenden Spirale durch den Nebenstrom allein. Dass dies der Fall sei, ergab sich, als die Verbindung der Nebenspirale mit der freien Spirale gelöst war. Die Nadeln in den beiden Hauptspiralen erhielten dann durch den Entladungsstrom einen nahe gleichen, die Nadel in der freien Spirale keinen Magnetismus. Der Hauptdrath, der den Batteriestrom führte, blieb in allen folgenden Versuchen ungeändert und Aenderungen wurden nur an der Nebenschliessung vorgenommen, an einer Stelle des Verbindungsdrathes zwischen der Nebenspirale und der freien Spirale. Die Richtung der in der freien Spirale magnetisirten Nadel wird hier und in der Folge als normale mit + bezeichnet, wenn sie einem Strome entspricht, der in der Nebenspirale dem Hauptstrome gleichgerichtet wäre. Die entgegengesetzte Richtung wird als anomale durch das Zeichen — angegeben. Die Kupferdräthe in der Nebenschliessung bestanden aus den freien Enden der beiden Spiralen (5/12 Linie dick, zusammen 3 1/4 Fuss lang) und aus drei 1/2 Linie dicken Kupferdräthen (zusammen 10 Fuss lang). Der dazu gesetzte Platindrath, dessen Länge die Tafel angibt, war 0,0554 Lin. dick. Die Batterie wurde mit der Elektricitätsmenge 15 geladen.

zwischen den Spiralen der Nebenschliessung:		Magnetisirung durch den		
		Hauptstrom.	Haupt- und Nebenstrom.	Nebenstrom.
Kupferdrath.	Platindrath.	Ablenkung der Bussole.		
13′ 3″	3,91 Fuss	30°,0	30°,2	0
„	1,95	30,5	31,5	0
„	0,96	30,2	39,0	+ 14,4
„	0,00	30,2	34,2	— 5,5

Man sieht hier durch den Nebenstrom in der Drathspirale dieselbe Wirkung auf die Nadel hervorgebracht, die oben bei zunehmender Umhüllung mit Stanniol eintrat. Durch allmählige Verbesserung der Leitung, die der Nebenstrom zu durchlaufen hat, nimmt der von ihm und dem Hauptstrome erregte Magnetismus anfangs zu und darauf ab. Aber worauf hier besonders zu merken ist, das ist die Richtung der von dem Nebenstrome allein magnetisirten Nadel. Obgleich in den beiden letzten Versuchen der Nebenstrom den vom Hauptstrome erregten Magnetismus verstärkte, so ist doch die Richtung der vom Nebenstrome allein magnetisirten Nadel nicht dieselbe. Es ist dies nicht ein nur einmal erhaltenes Ergebniss, und schon ein solches würde beweisend sein, sondern in allen von mir angestellten Versuchen trat es auf das Bestimmteste hervor, dass wir uns in völliger Unkenntniss der Gesetze befinden, nach welchen Haupt- und Nebenstrom zugleich eine Nadel magnetisiren. Aus der Magnetisirung durch einen Hauptstrom und der entgegengesetzt gerichteten durch einen Nebenstrom liess sich nicht voraussagen, ob der durch beide Ströme zugleich erregte Magnetismus stärker oder schwächer sein würde, als der durch den Hauptstrom allein bewirkte. Beiläufig sei bemerkt, dass die Richtung der Magnetisirung durch den Nebenstrom dieselbe blieb, als in der Hauptspirale keine Nadel lag. Umgekehrt folgt aus der angeführten Thatsache, wie prekär der Schluss von der Richtung des Magnetismus einer Nadel auf die Richtung eines uns unbekannten Stromes sein würde. Ich habe Dies früher[1]) dadurch nachgewiesen, dass

1) Monatsberichte 1860. 14. Unten: Seite 96.

ich in einer unveränderten Nebenschliessung eine Nadel in einem oder dem entgegengesetzten Sinne magnetisirte, je nachdem ich zu der Hauptschliessung einen Platindrath hinzusetzte, oder aus ihr fortliess. Ein Gleiches ergibt sich aus ein und demselben Versuche, dem letzten, der obigen Tafel. Nach der Nadel zu urtheilen, die durch die beiden Ströme magnetisirt wurde, würde der Nebenstrom mit dem Hauptstrome gleiche Richtung haben, weil er den durch ihn erregten Magnetismus verstärkt, und nach der gleichzeitig durch den Nebenstrom allein magnetisirten Nadel müssen wir diesem die entgegengesetzte Richtung zuschreiben.

Eine Schwächung des Magnetismus der Nadel durch den Nebenstrom konnte bei der angegebenen Einrichtung des Apparats nicht hervorgebracht werden. Selbst als die freiliegende Spirale fortblieb und die Schliessung der Nebenspirale möglichst verkürzt wurde, war der in dieser Spirale erregte Magnetismus stärker, als der in der leeren Hauptspirale. Ich vermuthete, dass zu einer Schwächung eine grössere Anzahl von Windungen der Nebenspirale erforderlich sei, weil dadurch die Elektricitätsmenge des Nebenstromes und seine Einwirkung auf die zu magnetisirende Nadel vermehrt wird. Die neue Nebenspirale, welche die Stelle der bisher gebrauchten in der zweiten Hauptspirale einnahm, war 4 $^5/_6$ Zoll lang und bestand aus einem 14 Fuss 7 $^1/_2$ Zoll langen, mit Seide besponnenen, $^3/_8$ Linie dicken Kupferdrathe, der in zwei Lagen um eine 2 Linien dicke Glasröhre gelegt war. Die innere Lage zählte 112, die äussere 108 Windungen, und beide waren durch ein Kautschuckblatt getrennt. Diese Spirale wurde mit der bisher gebrauchten freien Spirale, die nur 44 Windungen hatte, verbunden durch 21 Zoll eines $^3/_8$ Linie dicken und durch 20 $^1/_2$ Zoll eines $^5/_{12}$ Linie dicken Kupferdrathes. In eine dieser Verbindungen wurden die Dräthe eingeschaltet, deren Länge die folgende Tafel angibt. Der daselbst genannte Kupferdrath war $^1/_2$ Linie, der Platindrath 0,0554 Linie dick. Die Batterie wurde mit der Elektricitätsmenge 15 geladen.

in die Nebenschliessung eingeschaltet		Magnetisirung durch den Hauptstrom.	Haupt- und Nebenstrom.	Nebenstrom.
Kupferdrath.	Platindrath.	Ablenkung der Bussole.		
6′ 4″	54,74 Fuss	32°,3	32°,5	
„	39,10	31,5	33,8	
„	19,55	33,7	37,7	
„	5,86	31,5	40,5	
„	3,91	31,9	43,6	
„	1,95	31,6	47,5	— 1°,6
„	0,96	31,7	51,9	+ 1,0
„	0,48	30,5	42,7	— 4
„	0,25	31,1	36,6	— 6
„	0,15	30,7	30,5	— 7
„	0,08	31,1	24,6	— 9,2
„	0	31,1	16,1	—10,6
0	0	33	5,5	—11,2

Magnetisirungen einer Nadel durch den Entladungsstrom, welche nur durch Metallhüllen der verschiedensten Art hätten erreicht werden können, sind hier einfach dadurch hervorgebracht, dass die Enden der Drathspirale, welche die Nadel einhüllte, durch immer kürzere und besser leitende Dräthe mit einander verbunden wurden. Die Ablenkung am Magnetoskope stieg dadurch von 32 auf 52 Grad und fiel dann auf 5½. War in die Nebenschliessung ein Platindrath von 54,7 oder von 0,15 Fuss Länge eingeschaltet, so erhielt die Nadel denselben Magnetismus, den sie freiliegend in der Hauptspirale annahm. Es ist dabei interessant, zu sehen, wie empfindlich die Magnetisirung für die ersten Verlängerungen der Nebenschliessung ist. Ein Zusatz von etwa 6 Fuss Kupferdrath brachte die Anzeige des Magnetoskops von 5½ auf 16 Grad, und ein fernerer Zusatz von 1 Zoll dünnen Platindraths auf 24,6. Besonders merkwürdig aber ist hier wiederum die Richtung der durch den Nebenstrom allein magnetisirten Nadel. Bei den ersten Versuchen war diese Magnetisirung zu schwach, um sicher bestimmt werden zu können, bei den übrigen ist

sie bis auf Einen Fall durchweg anomal. Nimmt man hinzu, dass diese Magnetisirung durch Wirkung von 44 Spiralwindungen auf die Nadel geschah, während in der Nebenspirale, wo der Nebenstrom zugleich mit dem Hauptstrome magnetisirte, 220 Windungen auf die Nadel wirkten, so wird man überall, wo jene anomale Richtung der magnetisirten Nadel beobachtet wurde, eine grosse Schwächung des normalen Magnetismus in der combinirten Haupt- und Nebenspirale erwarten. Dennoch findet sich diese Schwächung nur in drei Versuchen, und in den übrigen ist die Magnetisirung durch Haupt- und Nebenstrom eben so gross oder stärker, als die in der leeren Hauptspirale.

Als eine Spirale von 220 Windungen, der in der Hauptspirale befindlichen Nebenspirale gleich, frei aufgestellt und mit dieser durch verschiedene Dräthe verbunden war, konnte nur ein Theil der früheren Versuche wiederholt werden. Die Magnetisirung der Nadel durch Haupt- und Nebenstrom zugleich, wurde durch Einschaltung von Platindräthen verstärkt, aber durch Beschränkung der Drathleitung nur unbedeutend geschwächt. Der Grund davon ist nach der oben angeführten Tafel, dass die Schliessung der Nebenspirale, die stets durch die freie Spirale geschah, nicht genügend verkürzt werden konnte. Die Magnetisirung durch den Nebenstrom allein war stärker als früher, und bei den meisten Verstärkungen des Magnetismus in anomaler Richtung, wie früher.

Die anomale Magnetisirung, die Savary an kurzen Nadeln in Metallhüllen bemerkt hat, ist bei Einhüllung von langen Nadeln in Drathschrauben bisher nicht vorgekommen. Es hat sich die anomale Richtung, die der Nebenstrom der in der Hauptspirale befindlichen Nadel ertheilte, nur in der Schwächung des normalen Magnetismus bemerklich gemacht, den ihr die Hauptspirale gab, und ist nicht selbständig hervorgetreten. Dies ist aber in hohem Grade der Fall bei einer veränderten Einrichtung des Apparats, und es erhält dann die Nadel in der combinirten Haupt- und Nebenspirale durch schwächere Entladungsströme, als

hier gebraucht wurden, einen starken Magnetismus, dessen Richtung der Richtung des Hauptstromes widerspricht. Diese merkwürdige Wirkung des Nebenstromes werde ich später genauer angeben, da sie im Zusammenhange mit Versuchen steht, die ich über die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom angestellt habe[1]).

Was sich in den hier mitgetheilten Versuchen voraussichtlich ergeben konnte und ergeben hat, ist bereits am Eingange ausgesprochen worden, die ausserordentliche Verwickelung der Magnetisirung durch mehrfache Ströme, deren Wirkung eine Nadel zugleich ausgesetzt ist. Die Nebenströme sind dabei von so grossem Einflusse, dass eine kleine Aenderung in den Bedingungen ihrer Bildung eine grosse Aenderung der Magnetisirung veranlassen kann. Dies ist sorgfältig zu beachten nicht nur, wo, wie hier, der Nebenstrom und seine Aenderung mit Absicht hervorgerufen wurde, sondern auch, wo dies nicht der Fall ist. Wie die Influenz bei ruhender Elektricität, ist die Induction bei bewegter zwar zu beschränken, aber nicht auszuschliessen. Bei aller Sorgfalt bleiben die isolirende Stütze des elektrisirten Körpers und die Hand des Experimentators übrig, welche durch Influenz elektrisirt werden und den elektrischen Zustand des untersuchten Körpers zu ändern vermögen. In gleicher Weise sind in dem einfachsten Schliessungsbogen, der eine leydener Batterie entladet, Nebenströme vorhanden, welche die Magnetisirung durch den Hauptstrom ändern, und es kann daher nicht auffallen, wenn diese Magnetisirung derselben Wandelbarkeit unterliegt, die durch Einhüllung der Nadeln in Metallhüllen oder Drathschrauben hervorgebracht wird. So hat Hankel zuerst gezeigt[2]), dass bei der Magnetisirung von 1¼ Zoll langen Nadeln in einer einfachen Spirale eines constanten Schliessungsbogens der Batterie, je nach Veränderungen desselben, welche die Bildung des Nebenstromes im Bogen selbst beschränkten oder beförderten, der

1) Unten. Ablenkung d. Magn. durch Nebenströme, §. 8.
2) Poggendorff's Annalen 69. 332.

Magnetismus der Nadel stärker oder schwächer, in einer oder der entgegengesetzten Richtung ausfällt.

(Schluss des Abschnittes.)

Die Prüfungsmittel des Stromes der leydener Batterie.*

Im elektrischen Strome unterscheidet man die Elektricitätsmenge, Dichtigkeit, Entladungsdauer, Art der Entladung und Richtung des Stromes. Der Strom der leydener Batterie, vorzugsweise Entladungsstrom genannt, hat vor anderen elektrischen Strömen voraus, dass zwei dieser Factoren des Stromes einer, von seinen Wirkungen unabhängigen, numerischen Bestimmung fähig sind. Die Elektricitätsmenge wird durch die Anzahl gleichwerthiger Erregungsacte gemessen, welche die Batterie, die Dichtigkeit durch die Anzahl, welche die Flächeneinheit derselben in den elektrischen Zustand versetzt hat. Die Entladung der Batterie geschieht durch ihre Verbindung mit dem Schliessungsbogen, in welchem der Entladungsstrom durch vielfache Wirkungen merklich wird. Aber die Stärke dieser Wirkungen ist im Allgemeinen nicht gegeben durch die Kenntniss der Elektricitätsmenge und Dichtigkeit der Batterie, man muss noch die Dauer und Art der Entladung, in einigen Fällen auch die Richtung des Stromes kennen. Zeit und Art der Entladung sind, bei constanter Elektricitätsmenge und Dichtigkeit, veränderlich mit der Beschaffenheit des Schliessungsbogens; sie werden indirect bestimmt durch Beobachtung der Wirkungen des Stromes.

Die hauptsächlichsten Prüfungsmittel des Entladungsstromes bezwecken die Kenntniss dieser unbekannten Factoren des Stromes und dürfen nur solchen Wirkungen entnommen sein, welche von der Zeit und Art der Entla-

* Monatsber. der Berl. Akad. der Wiss. 1860. 5.

dung abhangen. Wie selbstverständlich diese Bedingung bei der Wahl solcher Prüfungsmittel auch ist, so ist doch dagegen gefehlt worden, und wir begegnen den wunderlichsten Vorstellungen über die Eigenschaften des Stromes, die nur durch Fehler dieser Art erklärlich sind. Sind Elektricitätsmenge, Dichtigkeit, Dauer und Art der Entladung bekannt geworden, so herrscht über die Wirksamkeit des untersuchten Stromes kein Zweifel, wir können angeben, dass er eine Magnetnadel ablenken, einen Drath erwärmen, eine Erschütterung verursachen u. s. w. in höherem oder geringerem Grade werde, als ein anderer bekannter Strom. Die verschiedene Abhängigkeit jeder einzelnen Wirkung des Stromes von seinen Factoren lässt aber die Bezeichnung eines stärkeren, schwächeren, unveränderten Stromes so lange ohne bestimmten Sinn, als nicht die Wirkung angegeben wird, die der Strom äussern soll. Zur Vermeidung der Weitläufigkeit des Ausdruckes ist man übereingekommen, bei den elektrischen Strömen eine bestimmte Wirkung stillschweigend vorauszusetzen. Welche Wirkung vorzugsweise dem Strome zugeschrieben wird, ist an sich völlig gleichgültig, wenn nur die Wirkung von allen Factoren des Stromes abhängig und die Abhängigkeit bekannt ist.

Diese Bedingungen haben genöthigt, bei den verschiedenen Strömen verschiedene Wirkungen vorauszusetzen. Bei dem voltaischen Strome ist diese vorausgesetzte Wirkung die Ablenkung einer dem Schliessdrathe nahestehenden Magnetnadel, bei dem Strome der leydener Batterie die Erwärmung eines zum Schliessungsbogen gehörigen unveränderlichen Drathstückes. Die Bezeichnung eines stärkeren, schwächeren, gleichen voltaischen Stromes (oder Entladungsstromes) hat damit die bestimmte Bedeutung erhalten, dass eine bestimmte Zusammenstellung der einzelnen Factoren des Stromes, welcher die magnetische Ablenkung (oder Erwärmung) proportional ist, einen grösseren, kleineren, gleichen Werth gebe. Nur muss man dieser Bedeutung eingedenk sein, und nicht auf den Strom Eigenschaften übertragen wollen, die nur seiner Wirkung zugehören.

Gleiche Entladungsströme an und für sich betrachtet — denn von stärkeren und schwächeren kann nicht, nach der obigen Bemerkung, die Rede sein —, verlangen eine gleiche Elektricitätsmenge, die mit gleicher Dichtigkeit in derselben Zeit und in derselben Art entladen wird. Die durch Wärmeuntersuchung gewonnene Formel, die das Maass des Stromes abgibt, enthält die Elektricitätsmenge, die Dichtigkeit und die Entladungsdauer, insofern sie von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens abhängt, und es wird vorausgesetzt, dass die Art der Entladung sich nicht ändere. Die Aenderung der Entladungsart, wenn sie nicht durch äussere Merkmale gegeben wird, kann indirect durch jene Formel angezeigt werden, durch die Abweichung der beobachteten Werthe des Stromes von den berechneten. Diese Abweichung, bei geringer Aenderung der Entladungsart nur durch quantitative Unterschiede gegeben, kann so gross werden, dass die Beobachtung eine Abnahme des Stromes zeigt, wo die Formel eine Zunahme fordert, und umgekehrt. Ich habe in einer länger fortgesetzten Untersuchung gezeigt, welch geringe, bisher gänzlich übersehene Umstände die Aenderung der Entladungsart veranlassen, und welche Fehlschlüsse die Nichtbeachtung dieser Aenderung herbeiführen würde, und will eins der vielen Beispiele herausgreifen, das am einfachsten und anschaulichsten diese Fehler aufzeigt. Es wurde eine Batterie entladen durch einen Metalldrath, der an einer Stelle durch eine Kochsalzlösung unterbrochen war; die Batterie wurde in aufeinander folgenden Versuchen immer stärker geladen, so dass bei jeder folgenden Entladung ihre Elektricitätsmenge und Dichtigkeit grösser war, als bei der vorangehenden. Die Erwärmung einer Stelle des Schliessungsdraths, bei jeder Entladung beobachtet, stieg mit der Verstärkung der Ladung, wie es die Formel verlangt; aber nur bis zur Elektricitätsmenge 16. Bei der nächsten Verstärkung sank die Erwärmung auf ein Drittel ihres Werthes und stieg wiederum in den folgenden Versuchen. So kam es, dass die Erwärmung fast dieselbe war, die Batterie mochte mit der Elektricitätsmenge 10 oder 18,

mit 12 oder 22 geladen worden sein. Bei Nichtbeachtung des Ganges der Erwärmung und der darin angezeigten Aenderung der Entladungsart, würde man also nach der Beobachtung die Elektricitätsmenge bei zwei Strömen für gleich erklärt haben, bei welchen sie sehr verschieden war. In complicirteren Versuchen ist der Unterschied der Erwärmung je nach der verschiedenen Entladungsart des Stromes noch viel grösser, und er findet sich auch bei anderen Wirkungen des Stromes, namentlich bei der Ablenkung einer Magnetnadel und der chemischen Zersetzung. Dies ist besonders wichtig in Rücksicht auf die öfter versuchte Vergleichung der Elektricitätsmenge im Strome der voltaischen und der leydener Batterie, eine Vergleichung, die nur als hypothetisch gelten kann, da sie stillschweigend voraussetzt, dass im voltaischen Strome die Entladungsart genau dieselbe sei, wie im Strome der leydener Batterie, der durch feuchte Leiter verzögert worden ist.

Bei den meisten Versuchen an der leydener Batterie sind Elektricitätsmenge, Dichtigkeit und Richtung des Stromes vor seinem Eintritte bekannt, und das Prüfungsmittel ist auf Zeit und Art der Entladung gerichtet. Da hierbei Fehlgriffe geschehen sind, so werde ich alle benutzten Prüfungsmittel durchgehen und die am ausführlichsten, welche von Zeit und Art der Entladung unabhängig sind. Ueberdies ist es nicht überflüssig, sich auch während der Dauer des Stromes über seine Elektricitätsmenge, Dichtigkeit und Richtung zu unterrichten. Auch solche Prüfungsmittel sind der Beachtung werth, die kein genaues Maass, sondern nur eine bestimmte Aenderung eines Factors des Stromes erkennen lassen. Bei dem Dunkel, in das der elektrische Strom gehüllt ist, sind alle vorhandenen Hülfsmittel nützlich, damit eine Prüfung durch eine andere controlirt werden kann. Diesem Zwecke eignet sich jedes Mittel, das von dem Factor des Stromes abhängig ist, den man zu kennen wünscht, und dessen Abhängigkeit genügend bekannt ist. Hiernach dürfte nur ein einziges, aber leider oft benutztes Prüfungsmittel durchaus verwerflich sein, die Magnetisirung von

Eisen- oder Stahl-Nadeln. Wir vernehmen zwar die Sprache dieses Mittels, aber wir verstehen sie nicht.

§. 1. Elongation der Magnetnadel.

Die Magnetnadel erhält durch einen ihr parallel fliessenden Entladungsstrom keine dauernde Ablenkung, sondern nur eine bestimmte Geschwindigkeit, vermöge welcher sie zu einer momentanen Elongation fortgetrieben wird. Diese Geschwindigkeit, durch die Sehne des Elongationswinkels (Sinus des halben Winkels) gemessen, ist proportional dem Producte der magnetischen Kraft, die dem Schliessungsdrathe durch die Entladung ertheilt wird, in die Dauer dieser Kraft. Weder der Magnetismus des Schliessungsdrathes, noch die Zeit seines Bestehens ist direct bestimmt worden; es konnte aber aus den Versuchen über die Ablenkung selbst geschlossen werden, dass der Magnetismus proportional der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie ist, dividirt durch den Verzögerungswerth des Schliessungsbogens (Elektricitätslehre §. 515.). Multiplicirt man diesen Bruch mit dem Ausdrucke, der aus Wärmeversuchen für die Zeit der Entladung gefunden worden, so fallen aus dem Producte alle Factoren des Stromes heraus, bis auf die Elektricitätsmenge, wenn man die Art der Entladung constant annimmt. Bei gleicher Art der Entladung misst die Elongation der Magnetnadel die in dem Strome entladene Electricitätsmenge, und gibt durch die Seite, nach der sie stattfindet, die Richtung des Stromes an.

Die Unabhängigkeit der magnetischen Elongation von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens bildet keinen wesentlichen Unterschied zwischen dem Strome der leydener Batterie und dem der voltaischen Kette, obgleich der letztere, bei gleichbleibender kurzer Dauer der Schliessung, die Nadel zu einer desto grösseren Elongation forttreibt, je besser leitend der Schliessungsbogen ist. Dies ist eine Folge davon, dass bei der voltaischen Kette die Zeit der Einwirkung des Schliessungsbogens auf die Magnetnadel in unserm Belieben steht, nicht aber bei der leydener Batterie.

Wird z. B. die magnetische Kraft des Schliessungsbogens der leydener Batterie durch Verlängerung des Bogens auf die Hälfte gebracht, so wird nothwendig die Zeit der Einwirkung auf die Nadel verdoppelt. Man denke sich die Batterie nach jeder Entladung sogleich wieder geladen, und lasse sie eine bestimmte kurze Zeit geschlossen, so wird die Elongation der Nadel von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens abhängig sein, weil jetzt die Zeit der Einwirkung auf die Nadel constant, und die magnetische Kraft des Bogens seinem Verzögerungswerthe umgekehrt proportional ist. Dies ist der Fall der voltaischen Kette, die hiernach als eine nach jeder Entladung sich wieder ladende leydener Batterie betrachtet werden kann, ein Fall der, theoretisch genommen, keinen Unterschied zwischen den Strömen beider Apparate begründet[1]).

Die Benutzung der magnetischen Elongation als Prüfungsmittel für die Elektricitätsmenge des Entladungsstromes verlangt grosse Vorsicht. Der Strom darf nicht so lange dauern, dass während seines Verlaufes die Nadel sich merklich vom Meridiane entfernt hat, weil sonst die Elongation zu gross wird, und darf dagegen nicht zu kurze Zeit dauern, weil sonst die Nadel zu wenig oder gar nicht abgelenkt wird. Ist daher der Schliessungsbogen des Stromes

1) Es bezeichne q die Elektricitätsmenge, mit der eine Batterie geladen ist, z ihre Entladungszeit, so ist, wenn z' die Schliessungsdauer der Batterie bedeutet, die Sehne der magnetischen Elongation, nach dem oben angeführten Gesetze, proportional $\frac{q}{z} \cdot z'$. Dieser Ausdruck bestimmt die im Texte angegebene Abhängigkeit der magnetischen Elongation von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens, sowol für den Strom der leydener Batterie, wie für den der voltaischen Kette. Bei der Batterie ist $z' = z$, weil jene nur Einmal geladen ist, und deshalb ist die Elongation vom Schliessungsbogen unabhängig; bei der Kette, die beliebig oft entladen werden kann, ist die Zeit z' willkührlich, wenn sie nur verflossen ist, ehe die Nadel den Meridian verlassen hat. Wird z' constant gesetzt, so ändert sich die Elongation mit dem Schliessungsbogen. Man sieht ferner, dass die Grösse $\frac{q}{z} \cdot z'$ die im Batteriestrome entladene Elektricitätsmenge ausdrückt, die im Strome der voltaischen Kette entladene aber nur unter der Voraussetzung, dass die zu den wiederholten Ladungen der Kette verbrauchte Zeit verschwindend klein sei.

metallisch, so darf der Strom nur eine sehr geringe Dichtigkeit besitzen; ist seine Dichtigkeit grösser, so muss er durch Einschaltung von feuchten Leitern in die Schliessung verzögert werden. Dieselbe Ladung der Batterie durch einen unveränderten Schliessungsbogen entladen, kann je nach der Art der Entladung in einem Theile des Bogens, sehr verschiedene Elongationen der Magnetnadel hervorbringen. Die der Elektricitätsmenge des Stromes nicht entsprechende zu geringe Elongation rührt nicht allein, wie häufig angegeben wird, von dem zufälligen Umstande her, dass bei den gebräuchlichen Multiplicatoren der Strom einen Theil der Windungen überspringt; sie findet gleichfalls statt, wenn jede Windung von der folgenden durch eine dicke Lage von Guttapercha getrennt und damit das Ueberspringen der Elektricität verhindert ist.

§. 2. Magnetisirung von Eisennadeln.

Eine Eisennadel, sie sei mit mehr oder weniger Kohle verbunden, wird magnetisch durch den Entladungsstrom, mit dessen Bahn sie einen Winkel bildet, und zwar ist ihr Magnetismus desto stärker, je mehr sich dieser Winkel einem rechten nähert, und ein je grösserer Theil des Schliessungsdrathes in die Nähe der Nadel gebracht ist. Umwindet man daher eine Eisen- oder Stahl-Nadel mit einem Drathe in engen Windungen, so hat man ein Mittel, dessen Empfindlichkeit sich beliebig steigern lässt, welches das Dasein eines elektrischen Stromes anzeigt. Aber mehr nicht. Durch Untersuchung des Magnetismus der Nadel, sei es, dass man sie schwingen oder eine bewegliche Magnetnadel ablenken lässt, erfährt man Nichts über den Strom, der sie magnetisirt hat. Die Empfindlichkeit des Mittels und die Leichtigkeit seiner Anwendung hat häufig verleitet, es zur Prüfung von elektrischen Strömen anzuwenden, und Marianini hat dazu ein eigenes Instrument unter dem Namen Rhe-Elektrometer angegeben[1]), das aus einer mit Drath spiral-

1) Memorie di fisica sperimentale * Modena 1838 an. primo. p. 21.

förmig umwundenen Eisen- oder Stahl-Nadel besteht, die im Kreuz über einer Bussol-Nadel befestigt ist. Ein durch den Drath geschickter elektrischer Strom magnetisirt die Stahlnadel und bringt die Bussol-Nadel zu einer dauernden Ablenkung, die ein Maass des Stromes abgeben soll. Eine schon damals seit 10 Jahren vorliegende Abhandlung Savary's lehrt aber, dass diese Ablenkung, weit entfernt, den Strom zu messen, über keinen einzigen seiner Factoren mit Sicherheit entscheiden lässt. Savary's Versuche nämlich, von welchen ein kleiner Theil von mir, ein grösserer von Hankel mit gleichem Erfolge wiederholt worden ist, haben gelehrt, dass Ströme, die successiv in einem bestimmten Sinne verändert werden, eine Stahlnadel periodisch stärker und schwächer magnetisiren. Benutzt man z. B. Ströme, deren Entladungszeit durch Verlängerung ihrer Schliessung fortwährend zunimmt, so zeigt der Magnetismus der durch sie magnetisirten Nadeln für eine Anzahl auf einander folgender Ströme theils eine Zunahme, theils eine Abnahme. Häufig tritt dazu noch eine Aenderung der Richtung des Magnetismus, so dass ein an bestimmter Stelle der Drathschraube liegendes Ende der Nadel durch einen Strom ein Nordpol, durch den zunächst folgenden ein Südpol wird. Die Ausdehnung dieser Magnetisirungsperioden ist veränderlich mit den Dimensionen und der Beschaffenheit der zu magnetisirenden Nadel, mit den Dimensionen der Batterie und mit der absoluten Elektricitätsmenge ihrer Ladung. Der Einfluss der Beschaffenheit der Nadel lässt sich zum Theil vermeiden, wenn man sich stets derselben Nadel bedient, die nach jedem Versuche durch Glühen unmagnetisch gemacht wird; doch ist damit Nichts gewonnen. Magnetisirt man nämlich diese Eine Nadel durch einen unbekannten Strom, so lässt sich aus ihrem Magnetismus nicht bestimmen, ob der Strom eine grössere oder geringere Elektricitätsmenge oder Dichtigkeit besessen habe, als ein bekannter Strom, ob er längere oder kürzere Zeit gedauert habe, ob er mit ihm gleichgerichtet oder ihm entgegengerichtet sei. Es ist dagegen bemerkt worden, dass die Versuche Savary's und

seiner Nachfolger, aus welchen diese Unbestimmtheit der Anzeige folgt, mit Nadeln von geringen Dimensionen angestellt worden sind. Ich habe mich aber überzeugt, dass grössere Nadeln, wie sie zum Rhe-Elektrometer gebraucht werden, keine bestimmtere Sprache reden in Bezug auf Elektricitätsmenge, Dichtigkeit und Entladungsdauer des Stromes; nur in Rücksicht auf die Richtung des Stromes sind solche Nadeln weniger unzuverlässig. Aber sicher sind sie auch darin nicht. Masson hat vor Kurzem behauptet, dass bei der Anzeige der Richtung von Nebenströmen das Rhe-Elektrometer vollkommen sicher sei[1]), wogegen der folgende Versuch entschieden spricht.

Ich habe vor langer Zeit angegeben, dass die Magnetisirung durch den secundären Strom stets ihre Richtung ändert, wenn in den Hauptschliessungsbogen ein langer schlechtleitender Drath eingeschaltet wird. Die Versuche waren an feinen kurzen Nähnadeln angestellt worden[2]); sie sind jetzt mit Nadeln aus weichem englischen Gussstahl wiederholt worden, die fast 3 Zoll ($34\,^1/_6$ par. Linie) lang, $^7/_{12}$ Linie dick waren. Es wurden vier solche Nadeln gebraucht, die in eine Glasröhre und mit derselben in eine Drathschraube gebracht wurden, welche $6\,^1/_6$ Zoll lang, $2\,^1/_6$ Linie weit, aus einem mit Seide besponnenen, 100 Zoll langen, $^3/_8$ Linie dicken Kupferdrathe schraubenrecht gewunden war. Diese Drathschraube wurde nebst einem elektrischen Thermometer in die, ganz aus Kupferdrath bestehende, Nebenschliessung einer Batterie eingeschaltet, deren Hauptschliessung aus gutleitenden Stücken zusammengesetzt war. Die durch den secundären Strom magnetisirte Nadel wurde an einer Bussole geprüft, die Richtung ihres Magnetismus als positiv bezeichnet, wenn ein Nordpol dem Ende der Drathschraube entsprach, an dem der Nebenstrom, bei gleicher Richtung mit dem Hauptstrome, austrat. Ich erhielt bei gleicher Ladung der Batterie die folgenden Erwär-

1) Annales de phys. et chimie, Avril 1858.
2) Poggendorff's Annalen 47. 64.

mungen des Thermometers und Ablenkungen der Bussole durch die magnetisirte Nadel.

In der Hauptschliessung	In der Nebenschliessung	
	Erwärmung.	Ablenkung der Bussole.
keine Einschaltung	40,0 Lin.	+ 10°
	40,3	+ 8,3
Platindrath 0''',0554 dick, 48',9 lang	2,0	— 11,5
103,6	1,0	— 15,5

Die Verlängerungen des Hauptdrathes durch Platindräthe, welche die Erwärmung durch den Nebenstrom so bedeutend verminderten, verstärkten nicht nur den durch denselben Strom erregten Magnetismus von Stahlnadeln, sondern kehrten auch ihre magnetische Richtung um. Diese Erfolge, wenn auch natürlich nicht in den absoluten Werthen der Ablenkung, sind vollkommen sicher. Da hier kein Grund vorhanden ist für eine veränderte Richtung des Nebenstromes selbst, so kann hierin nur eins der Räthsel der Magnetisirung erkannt werden, wie sie bei Anwendung von Haupt- und Neben-Strömen so häufig vorgekommen sind. Ehe nicht diese Räthsel ihre Lösung erhalten haben, wird die Anwendung der Magnetisirung zur Prüfung elektrischer Ströme nicht gestattet sein.

§. 3. Schlagweite.

Die grösste Entfernung, welche in freier Luft der Funke überspringt, der die Entladung der Batterie herbeiführt, ist der mittleren Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie proportional, die grösste Entfernung in Luft, durch welche der Strom im Schliessungsbogen übergeht, dem Quadrate dieser Dichtigkeit. Oder, wie man diese Erfahrung kurz ausdrückt, die Schlagweite der ruhenden Elektricität ist proportional der Dichtigkeit, die der bewegten Elektricität dem Quadrate der Dichtigkeit in der Batterie (Elektricitätslehre §. 805.). Ich habe vor langer Zeit gezeigt, dass die Schlagweite der ruhenden Elektricität unabhängig von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens ist, und es war nicht

zu zweifeln, dass diese Unabhängigkeit auch für die Schlagweite bewegter Elektricität statthabe. Die folgenden Versuche bestätigen dies vollkommen.

Es wurde an einer Batterie von 3 Flaschen, jede von 2,6 Quadr.-Fuss Belegung, ein Schliessungsbogen angebracht, in welchem sich neben einem elektrischen Thermometer das Funkenmikrometer befand, dessen Kugeln von 6¼ Linien Durchmesser, eine Linie von einander entfernt standen. Die Batterie wurde, wie gewöhnlich, durch einen fallenden Metallarm entladen, aber darauf gesehen, dass sowol an diesem, wie in der Lücke des Schliessungsbogens ein Funke erschien. Dieser erschien nicht, als die Batterie mit der Elektricitätsmenge 10, zu deren Messung die Kugeln der Maassflasche ½ Linie von einander entfernt waren, wohl aber als sie mit der Menge 11 geladen war. Das Thermometer zeigte dabei (in 2 Versuchen) eine Erwärmung von 46,3 und 45 Linien. Es wurde darauf der Schliessungsbogen zwischen dem Innern der Batterie und dem Funkenmikrometer durch einen 103,6 Fuss langen, 0,0554 Linie dicken Platindrath verlängert. Der Funke erschien wiederum bei Ladung der Batterie mit der Elektricitätsmenge 11, das Thermometer wurde aber nur bis 1,5 und 1,5 Linie erwärmt. Als endlich an die Stelle des Platindrathes eine 1 Fuss lange mit Wasser befeuchtete Hanfschnur gesetzt war, übersprang zwar der Funke die Lücke im Schliessungsbogen, das Thermometer blieb aber unbewegt. Es gehen also die verschiedensten Entladungsströme durch dieselbe Luftstrecke über, wenn sie nur von gleich dichter Elektricität herrühren. Die Verschiedenheit der Ströme war nicht nur durch die Thermometerbeobachtung gegeben, sondern wurde durch den Funken selbst angezeigt, der durch die Einschaltung ausserordentlich an Glanz verlor, was Heller schon vor langer Zeit beobachtet hat.

Die hinzukommende Schlagweite im Schliessungsbogen ändert die Gesetze nicht, die an Entladungsströmen gefunden wurden, als nur der nothwendige Entladungsfunke dicht an der geladenen Batterie stattfand. Es wurden bei

derselben Unterbrechung im Schliessungsbogen von einer Linie vier Beobachtungsreihen der Erwärmung angestellt, jede mit den Elektricitätsmengen 11 13 15, aber mit Einschaltung einer verschiedenen Länge eines 0,0554 Linie dicken Platindrathes in den Schliessungsbogen.

Länge d. eingeschalt. Drathes	0,978	1,955	5,865	9,775 Fuss
Erwärm. für Einheit d. Ladung	0,70	0,55	0,28	0,19

Diese aus drei Beobachtungen berechneten Erwärmungen schliessen sich den Werthen 0,70 0,54 0,28 0,19 vollkommen an, die nach dem für den vollen Bogen geltenden Gesetze gefunden werden. Nicht weniger merklich, wenn auch weniger genau in den Zahlenwerthen, erscheint der Einfluss des Schliessungsbogens auf die Erwärmung, wenn der Bogen durch eine tropfbare Flüssigkeit unterbrochen ist, die der Entladungsstrom mit einem Funken durchbricht. Ich wähle das folgende Beispiel seines anderweitigen Interesses wegen.

Der Schliessungsbogen war durch eine Kochsalzlösung unterbrochen, in welche die in einer frühern Abhandlung von mir benutzten Elektroden tauchten: ein $^1/_6$ Linie dicker, in Glas eingeschmelzter Platindrath und eine $4\,^1/_2$ Linien dicke Messingkugel, welche 0,8 Linie von dem Drathende entfernt blieb. Je nach der Verbindung dieser Elektroden mit dem Schliessungsbogen wurde der Platindrath positive Elektrode, und dann trat in der Flüssigkeit die starke Funkenentladung ein, oder negative Elektrode, was die schwache Funkenentladung zur Folge hatte. Es wurde aus drei Flaschen die Elektricitätsmenge 14 entladen, um nicht zu kleine Erwärmungen zu erhalten. Die Einschaltungen in den Schliessungsbogen geschahen mit einem isolirten, 0,0554 Linie dicken Platindrath, von dem eine Länge 1,955 par. Fuss mass. Es wurden folgende Erwärmungen des Thermometers Einmal beobachtet.

Einschaltung	0	1	3	5	9 Längen.
	Erwärmung.				
bei starker Funkenentlad.	40,4	30	13,3	11,5	6,6
„ schwacher „	7,8	6,7	5,5	4,0	3,7

Sowol bei starker, wie bei schwacher Funkenentladung nimmt der Strom bedeutend ab mit Verlängerung des Schliessungsbogens, aber in grösserem Verhältnisse bei der starken Funkenentladung. Während hier, durch Einschaltung von 9 Längen Platindrath in die Schliessung, der Strom von 1 auf $^1/_6$ gebracht wird, sinkt er bei der schwachen Entladung nur im Verhältnisse von 1 zu $^1/_2$. Hierdurch erhält meine Vermuthung eine neue Bestätigung, dass bei der schwachen Funkenentladung eine grössere Verzögerung der Entladung bei ihrem Uebergange von den Elektroden in die Flüssigkeit statt findet, als bei der starken Entladung[1]). Die Schlagweite lässt sich in einer Flüssigkeit nicht genau bestimmen, weil die Entladung der Batterie auch dann vollständig ist, wenn kein durch die ganze Flüssigkeitschicht schlagender Funke bemerkt wird, und ehe dieser erscheint, an jeder Elektrode ein gesonderter Funke auftritt. Doch habe ich beobachtet, dass der erste scheinbar die ganze Schicht der Salzlösung durchsetzende Funke bei derselben Dichtigkeit der Batterie eintrat, der Schliessungsbogen mochte keine oder eine Einschaltung von 53 Längen Platindrath enthalten.

Die Schlagweite gibt ein sicheres Prüfungsmittel für die Dichtigkeit der Elektricität eines Entladungsstromes. Bei dem Strome des magneto-elektrischen Inductionsapparats, der sich dem Entladungsstrome anschliesst, kann die Schlagweite auch als Prüfungsmittel der Richtung des Stromes dienen. Sucht man nämlich an diesem Apparate die Schlagweite in freier Luft zwischen einer Metallspitze und Fläche, so findet man die Weite bedeutend grösser, wenn die Spitze positive Elektrode ist, also der Strom von der Spitze zur Fläche geht, als im anderen Falle. Es wurde eine Gabel aus einem $^2/_3$ Linie dicken Messingdrathe gefertigt, deren zwei Zinken $^1/_2$ Zoll lang waren und 7 Linien von einander standen. Das Ende der einen Zinke wurde scharf zugefeilt, das der andern abgeflächt; die Gabel wurde

1) Monatsbericht d. Akad. 1858. 566.

am Funkenmikrometer angebracht und ihr gegenüberstehend eine gleiche Gabel, so aber, dass der spitzen Zinke der einen Gabel die flache der andern zugekehrt war und von ihr entfernt werden konnte. Bringt man die Stiele dieser Gabeln in die Schliessung des Inductionsapparats und in die grösste Entfernung, in der ein anhaltender Funkenstrom übergeht, so wählt dieser stets das Zinkenpaar zum Uebergang, an welchem die spitze Zinke positive Elektrode ist. Bei dem nur momentan übergehenden Strome der leydener Batterie und ihren Nebenströmen ist dies nicht der Fall, und der Funke geht gleichgültig an dem einen oder anderen Zinkenpaar über. Hier fehlt nämlich die dauernde Luftverdünnung, welche das Prüfungsmittel verlangt und der Funkenstrom zu Stande bringt. Am Inductionsapparate gewährt die Doppelgabel eine sichere Entscheidung über die Richtung des Stromes. Die spitze Zinke, an der die Funken erscheinen, ist mit dem Ende der Inductionsrolle verbunden, das bei Oeffnung der Kette positiv wird.

Die Schlagweite selbst gibt zwar keine Anzeige der Entladungsdauer des Stromes, wohl aber kann diese nach dem Glanze und Schalle des dabei auftretenden Funkens beurtheilt werden. Eine bedeutende Verzögerung des Stromes vermindert Glanz und Schall des Funkens in hohem Grade, und die Einschaltung eines feuchten Leiters in den Schliessungsbogen ändert seine Farbe in's Rothe. Aber selbst geringe Aenderungen der Entladungsdauer können, bei einiger Aufmerksamkeit des Beobachters, nicht unbemerkt vorübergehen. Es ist dies bei allen Strömen der Fall, sowol dem Batteriestrome und seinen Nebenströmen, wie dem Strome des Inductionsapparats, und wird besonders wichtig in Fällen, wo die Aenderung der Entladungsdauer nicht durch Aenderung der Strombahn, sondern durch Einwirkung von Nebenströmen verursacht wird, die zuweilen sich dadurch zuerst bemerklich machen.

Die Richtung des Stromes ist an dem momentanen Funken in freier Luft nicht zu erkennen, aber leicht an den dauernden Funken des Inductionsapparates. Ist dieser Fun-

kenstrom so dicht, dass er merklich ein Stück der Elektroden deckt, so erscheint an Einer Elektrode eine charakteristische blaue Färbung des Funkens, die, Einmal gesehen, in späteren Fällen nicht zu übersehen ist. Diese Färbung bezeichnet stets die negative Elektrode (welche durch den Oeffnungsstrom negativ wird). In sehr verdünnter Luft wird die blaue Färbung auch an einem Funkenstrome von kurzer Dauer merklich. In dieser Weise hat Poggendorff die entgegengesetzte Richtung der beiden Ströme augenfällig gemacht, welche bei dem Aufsetzen und Abheben des Elektrophorschildes entstehen [1]).

§. 4. Erwärmung.

Die Erwärmung eines Stückes des Schliessungsdrathes gibt das wichtigste Mittel zur Prüfung des Entladungsstromes, da jene, mit Ausnahme der Richtung, von allen Factoren des Stromes abhängt, diese Abhängigkeit genau bekannt und ihre Beobachtung leicht und sicher auszuführen ist. Bei dazu besonders eingerichtetem Schliessungsbogen wird auch die Richtung durch die Erwärmung indirect bestimmt, und dann in sehr auffälliger Weise. Ist nämlich der Schliessungsbogen an einer Stelle durch eine Flüssigkeit mittleren Leitungsvermögens unterbrochen, und besitzen die darein tauchenden Enden des Bogens eine verschiedene Ausdehnung, so erhält man eine verschiedene Erwärmung im übrigen Schliessungsbogen, je nachdem der Strom von der kleinen zur grossen Elektrode oder umgekehrt, durch die Flüssigkeit geht. Wo es erlaubt ist, eine solche Unterbrechung im Schliessungsbogen anzubringen, ist es daher leicht, die Richtung des Stromes im ganzen Bogen durch die Erwärmung zu bestimmen. Bei den von mir bisher benutzten Flüssigkeiten (Schwefelsäure, Salpetersäure, Kochsalz-, Kali-Lösung in verschiedenen Verdünnungen) trat stets die grössere Erwärmung ein, wenn der Strom von der kleinen zur grossen Elektrode durch die Flüssigkeit ging. Doch

---

1) Poggendorff's Annal. 99. 176.

würde es nicht auffallen, wenn sich eine Flüssigkeit fände, bei der es sich umgekehrt verhielte, da der Fall vorliegt, wo die stärkere Erwärmung beobachtet wird bei dem Uebergange des Stromes von der grossen zur kleinen Elektrode. Dies geschieht, wenn die Elektroden, statt in einer tropfbaren Flüssigkeit, sich in stark verdünnter Luft befinden.

§. 5. Elektrodynamische Abstossung.

Die Abstossung eines beweglichen Theiles des Schliessungsbogens durch einen festen Theil hängt ab, nach W. Weber's Versuchen zu urtheilen, von der Elektricitätsmenge, der Dichtigkeit und der Entladungsdauer des Stromes, und die Winkelgeschwindigkeit des abgestossenen Stückes kann durch dieselbe Formel bestimmt werden, welche die durch den Strom, in einem constanten Stücke des Schliessungsbogens, erregte Wärme misst. Die Abstossung wird demnach ein Prüfungsmittel für den Entladungsstrom abgeben, und da es bei schwachen Strömen anwendbar ist, wo die Erwärmung nicht mehr genau zu messen ist, diese ersetzen können. Dies Prüfungsmittel bei stärkeren Strömen anzuwenden, verbietet die jetzige Einrichtung des dazu construirten Instrumentes, das eine grosse Drathlänge in den Schliessungsbogen bringt, deren Isolation nicht genügend ist, das Ueberspringen von Funken zu verhindern. Diese Mängel zu beseitigen, ist vor einigen Jahren der Versuch gemacht worden, der jedoch, da er bis jetzt nicht veröffentlicht ist, misslungen zu sein scheint.

§. 6. Mechanische Wirkung. Glühen von Metalldräthen.

Die mechanische Wirkung des Entladungsstromes nimmt zu, bei gleicher Art der Entladung, mit der Elektricitätsmenge und Dichtigkeit in der Batterie, und ist abhängig von der durch die Beschaffenheit des Schliessungsbogens bestimmten Entladungsdauer. Je länger diese Dauer, desto schwächer ist die Wirkung. Es wurde ein dicker Pressspan (eine sehr dichte geglättete Pappe) zwischen zwei Spitzen im Schliessungsbogen geklemmt, und dadurch die

Elektricitätsmenge 20 aus drei Flaschen entladen. Der Pressspan wurde mit starkem Licht und Knall durchbohrt; das Loch war völlig frei, seine Ränder, nach beiden Seiten wulstig und zerrissen, traten bedeutend über die Flächen hervor. Als zum Schliessungsbogen ein 103,6 Fuss langer, 0,0554 Linie dicker Platindrath hinzugesetzt war, durchbohrte dieselbe Ladung den Pressspan mit schwachem Licht und Schall; das Loch war nicht durchsichtlich und seine wenig erhabenen Ränder hatten den Glanz behalten. Bei Einschaltung einer 8 $1/3$ Zoll langen, 3 $1/2$ Linien dicken Säule von destillirtem Wasser, waren die Entladungszeichen kaum merklich; der Pressspan wurde in einem äusserst zarten Loche durchbohrt, dessen Ränder weder dem Gefühle, noch dem Gesichte über der glänzenden Fläche erhaben erschienen.

Auch in tropfbaren Flüssigkeiten ist die mechanische Wirkung nach der Beschaffenheit des Schliessungsbogens in gleicher Weise verschieden. Es wurde in schwacher Kochsalzlösung eine Messingkugel einem in Glas eingeschmelzten Platindrathe in 0,8 Linie Entfernung gegenübergestellt und mit einer Röhre von gefirnisstem Seidenpapier umgeben. Der Drath war positive Elektrode. Als die Elektricitätsmenge 14 aus 3 Flaschen durch die Flüssigkeit entladen wurde, während im Schliessungsbogen ausser einem elektrischen Thermometer ein 17,6 Fuss langer Platindrath sich befand, blieb die Röhre ganz, das Thermometer zeigte 8 Linien Erwärmung. Der Platindrath wurde bis 9,8 Fuss verkürzt, das Thermometer wurde zu 13,6 Linien erwärmt, die Röhre blieb unverletzt. Nachdem aber der Platindrath entfernt worden, wurde das Thermometer zu 54 Linien erwärmt und die Röhre in einer Länge von 9 Linien aufgeschlitzt.

Wie die mechanische Wirkung verhält sich das Glühen von Metalldräthen, das ein bequemeres und genaueres Prüfungsmittel des Stromes abgibt. In frühern Versuchen hatte sich gezeigt, dass ein Drath von beliebiger Länge, dessen Metall und Dicke unverändert bleibt, durch einen Entladungsstrom ins Glühen kommt, der ein in der Schliessung befindliches Thermometer zu einem bestimmten Grade

erwärmt [1]). Diese Unabhängigkeit des Glühens von der Länge des Drathes zeigte, dass das Glühen, obgleich durch eine verschiedene Entladungsart hervorgebracht, in derselben Abhängigkeit von Elektricitätsmenge, Dichtigkeit und Entladungsdauer steht, wie die Erwärmung. Der folgende Versuch lässt dies leichter erkennen. Ein Platindrath 1 Zoll lang, 0,037 Linie dick, war in den Schliessungsbogen hinter einem elektrischen Thermometer eingeschaltet, dessen Drath 0,0819 Linie dick war. Die Elektricitätsmenge 15 aus drei Flaschen entladen, brachte den Platindrath zum Glühen, das Thermometer zur Erwärmung von 24,4 Linien. Es wurden zum Schliessungsbogen 5,8 Zoll eines 0,0554 Linie dicken Platindraths hinzugesetzt. Das Glühen des zolllangen Drathes erfolgte erst mit der Elektricitätsmenge 18, die das Thermometer zu 24,2 Linien erwärmte. Die Verlängerung des zugesetzten Drathes bis 23½ Zoll machte die Anwendung der Elektricitätsmenge 26 nöthig, die den Drath zum Glühen und das Thermometer zur Erwärmung 23,7 brachte. Man sieht, dass das Glühen bei jeder Länge des Schliessungsbogens mit derselben Stromstärke eintritt, und daher das Glühen eines Drathes, dessen Stoff und Dicke gegeben ist, ein Prüfungsmittel abgibt auf einen Entladungsstrom von bestimmter Stärke.

Hieraus folgt ferner, dass, wenn man den glühenden Drath zur Zündung eines Stoffes benutzt, wie es bei Anwendung der voltaischen Säule geschieht, man ganz dieselbe Unbequemlichkeit erfährt, wie dort. Die Zündung ist durch eine kleine leydener Batterie oder voltaische Säule zu bewirken, wenn sie in einem kurzen gutleitenden Schliessungsbogen geschehen soll, und erfordert grosse Apparate und starke Ladung, wenn der Schliessungsbogen sehr lang ist. Aber eine solche Zündung kann nur uneigentlich eine elektrische genannt werden; es ist eine Zündung durch einen heissen Drath, der durch einen elektrischen Strom erhitzt worden ist, und die daher den Bedingungen unterliegt, von

1) Elektricitätslehre 2. 17.

welchen die Erhitzung abhängt. Ganz anders verhält es sich mit der eigentlich elektrischen Zündung, von der im folgenden Paragraphe die Rede ist.

§. 7. Chemische Wirkung. Zündung.

Die Zersetzung einer Flüssigkeit, zu der vorzugsweise die Jodkaliumlösung gewählt wird, liefert ein sicheres Prüfungsmittel für die Richtung des Entladungsstromes, wenn die Dauer desselben nicht zu klein ist. Der leicht kenntliche Jodfleck bezeichnet die positive Elektrode, die Stelle, an welcher der Strom in das mit der Lösung befeuchtete Papier eingetreten ist. Weniger geeignet ist der Jodfleck, wozu er zuweilen gebraucht worden, über die im Strome entladene Elektricitätsmenge zu entscheiden. Die Menge der zersetzten Substanz hängt nämlich nicht nur von der Elektricitätsmenge des Stromes ab, sondern auch von seiner Dichtigkeit und von der Entladungsdauer, die durch die Beschaffenheit des Schliessungsbogens bestimmt wird. Entladet man eine gegebene Elektricitätsmenge aus einer kleinen Batterie durch einen gutleitenden Schliessungsbogen, so ist der Jodfleck kleiner und weniger intensiv, als wenn man eine grosse Batterie dazu gebraucht, oder in den Schliessungsbogen einen langen schlechtleitenden Drath oder eine Wassersäule einschaltet. Gleiche Jodflecke lassen deshalb nur dann auf gleiche Ströme schliessen, wenn man überzeugt ist, dass Dichtigkeit und Entladungsdauer der verglichenen Ströme dieselben sind.

Zur elektrischen Zündung trägt die chemische, die mechanische und die erwärmende Wirkung des Stromes bei. Nehmen wir Elektricitätsmenge und Dichtigkeit des Stromes unverändert an, so wird mit zunehmender Entladungsdauer die chemische Wirkung verstärkt, die mechanische und erwärmende Wirkung vermindert. Je nach der Natur des Zündstoffes ist es die eine oder andere Wirkung, welche die Zündung hauptsächlich bedingt. Nimmt man dazu, dass der Stoff selbst, der in einer Lücke des Schliessungsbogens angebracht wird, die Entladungsdauer verändert, so wird es

begreiflich, dass bei verschiedenem Zündstoffe eine verschiedene Abhängigkeit der Zündung von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens bemerkt wird. Bei einigen Substanzen ist die gute Leitung des Bogens der Zündung günstig, bei anderen gleichgültig, bei noch andern entschieden hinderlich. Zum Beispiel: mit Harz bestreuete Baumwolle und Alkohol wird leichter entzündet, wenn der Schliessungsbogen gut leitet, Schiesswolle leichter, wenn in ihn ein langer Drath oder eine Flüssigkeitssäule eingeschaltet ist. Phosphor, Schiesspulver und Feuerschwamm werden nur bei hinlänglich grosser Verzögerung des Stromes entzündet, so dass diese Stoffe als Prüfungsmittel für die Dauer des Entladungsstromes dienen, in der Art, dass ihre Zündung anzeigt, diese Dauer übersteige eine gewisse Zeit. Pfaff hat mit Schiesspulver die gleiche Entladungsdauer zweier Ströme zu bestimmen gesucht, indem er, in verschiedenen Versuchen, eine Säule von einer und einer andern Flüssigkeit in den Schliessungsbogen einschaltete, von solcher Länge, dass im Bogen befindliches Schiesspulver nicht entzündet wurde. Er vergrösserte darauf behutsam die Entladungsdauer der Ströme durch Verlängerung jeder Flüssigkeitssäule, bis eine Zündung des Pulvers erfolgte. Da die Flüssigkeitssäulen in gleichen Röhren eingeschlossen waren, also gleiche Dicke hatten, so gab das Verhältniss ihrer Längen eine Schätzung des Leitungsvermögens der angewandten Flüssigkeiten. Der Feuerschwamm würde, nach meinen Versuchen, als bequemeres Prüfungsmittel zu demselben Zwecke dienen können.

Bei der Zündung lässt sich am schlagendsten zeigen, zu wie grossen Irrthümern die Anwendung von Prüfungsmitteln des Stromes führt, deren Eigenschaften man nicht kennt. Durch die Wahl des Zündstoffes kann nach Belieben die Meinung scheinbar unterstützt werden, dass der Strom der leydener Flasche durch zunehmenden Leitungswiderstand geschwächt werde, oder von diesem Widerstande unabhängig sei, oder gar durch ihn verstärkt werde.

§. 8. Polarisirung von Metallplatten. Bildung von Staubfiguren. Durchbohrung von Papier.

Die Polarisirung von Metallplatten in Flüssigkeiten ist als Prüfungsmittel der chemischen Wirksamkeit und indirect der Elektricitätsmenge von Entladungsströmen benutzt worden. Dass sie hierzu nur bei Kenntniss der Dichtigkeit und Entladungsdauer dienen könnte, folgt aus dem oben bei der chemischen Wirkung Bemerkten, aber auch dann bleibt sie zweideutig, da die Polarisation keineswegs eine schon hinlänglich aufgeklärte Erscheinung ist. Sicherer scheint ihre Benutzung als Prüfungsmittel der Richtung eines Stromes, doch wird sie auch da mit Vorsicht anzuwenden sein, da neuere Versuche gezeigt haben, dass Elektroden besonderer Beschaffenheit durch denselben Strom in verschiedenem Sinne polarisirt werden.

Die Bildung von Staubfiguren auf einer isolirenden Platte, die in einer Lücke des Schliessungsbogens angebracht ist, kann zur Erkennung der Stromesrichtung dienen, in Fällen, wo die Platte geladen bleibt, wie bei dem Batteriestrom. Man erhält auf einer Fläche der Platte die charakteristische positive oder negative Staubfigur, je nachdem sie ihre Elektricität von der positiven oder negativen Elektrode erhalten hat. Wird aber die Platte gleich nach der Ladung wieder entladen, wie bei den Nebenströmen, so wird von jedem Ende des Schliessungsbogens eine eigenthümliche Figur gebildet, welche aus der positiven und negativen Form zusammengesetzt ist.

Die Durchbohrung von Papier in freier Luft ist ein bequemes, in vielen Fällen sicheres Prüfungsmittel der Stromesrichtung. Man bringt hierzu zwei spitz zugeschnittene federnde Metallstreifen im Schliessungsbogen an und stellt die Spitzen einander gegenüber in eine der Stärke des Stromes entsprechende Entfernung. Zwischen die Spitzen wird ein langer Papierstreifen geklemmt und nach jedem Versuche weiter gerückt. Der Entladungsstrom geht mit Funken auf einer der beiden Papierflächen eine viel grössere Strecke fort, als auf der andern, und durchbohrt das Papier in der

Nähe einer Spitze. Die Papierfläche, über welche der Funke geht, bezeichnet die sie berührende Spitze als die positive Elektrode, so dass die Durchbohrung in der Nähe der negativen Elektrode stattfindet. Man hat demnach die Richtung während des Stromes angegeben und nach dem Versuche erkennbar. Bei schwachen Strömen ist die Verletzung des Papiers so gering, dass dieselbe Stelle zu mehren Versuchen dienen kann. Ich habe dies Mittel bei dem Strome der Batterie, des Elektrophors und des Inductions-Apparates als sicher erprobt. Leider aber versagt es seine Dienste bei den Nebenströmen der Batterie aus dem nachweisbaren Grunde, weil diese stets von zwei Strömen der Seitenentladung begleitet sind, welche mit verschiedener Stärke und entgegengesetzter Richtung an die Spitzen treten.

Dritter Abschnitt.
Mechanismus der elektrischen Entladung.

(Nach dem ersten Kapitel.)

Aenderung der Entladungsart des Batteriestromes.

Einfluss der Leitung eines elektrischen Stromes auf die Art seiner Entladung.*

Die Gesetze, nach welchen die Naturkräfte wirken, sind nicht einfach; sie erscheinen uns nur einfach in der Vorstellung, welche die Kräfte von den Umständen befreit, unter welchen sie gewöhnlich wirken, einfach im Versuche, der in gewissen Gränzen gehalten wird. Ist die Beschränkung des Versuches nothwendig, um zu einfachen Naturgesetzen und damit zu einem Leitfaden bei der Beurtheilung der verwickelten Wirkung zu gelangen, so bleibt es nicht minder nöthig, dieselbe aufzugeben, damit nicht der Glaube an die unbedingte Gültigkeit jener Gesetze erweckt, und der Weg zu Fehlschlüssen offen gelassen werde. Es ist der Zweck der vorliegenden Untersuchung, zu zeigen, dass die Gränzen, innerhalb welcher die überaus nützlichen Gesetze der elektrischen Leitung gelten, leicht zu über-

---

* Monatsber. der Akad. der Wiss. 1856. 241.

schreiten sind, und die nöthige Vorsicht bei der Anwendung dieser Gesetze zu empfehlen.

Die elektrischen Leitungsgesetze lehren die Abhängigkeit verschiedener elektrischen Erscheinungen von dem Stoffe und den Dimensionen der dem Versuche unterworfenen Körper, und dadurch das sogenannte Leitungsvermögen der Körper bei Einheit der Dimensionen zu bestimmen. Das Leitungsvermögen ist in verschiedener Weise gemessen worden, je nachdem es als Ursache der einen oder der andern Erscheinung betrachtet wurde. Im eigentlichsten Sinne ist mit dem Ausdrucke: elektrisches Leitungsvermögen eine Eigenschaft der Körper bezeichnet worden, vermöge welcher, wenn sie an einen elektrisirten Körper angelegt werden, dieser in den unelektrischen Zustand zurücktritt. Die Beobachtung war hiernach zuerst auf den elektrisirten Körper gerichtet, und auf die Zeit, in welcher eine Aenderung seines elektrischen Zustandes eintrat. Dem angelegten unelektrischen Körper, welcher der entladende genannt wird, schrieb man ein desto grösseres Leitungsvermögen zu, in je kürzerer Zeit er den elektrisirten Körper entladen hatte. Diese Untersuchung hat zu einer rohen Eintheilung aller Körper geführt, und sichere Gesetze nur für wenige schlechtleitende Körper geliefert, in Bezug auf welche die allgemeine Bezeichnung Leitung mit der speciellen: Zerstreuung (französisch: déperdition) der Elektricität vertauscht wurde. Zu diesem Zwecke wird die Methode noch jetzt gebraucht. Später richtete sich die Untersuchung auf den entladenden Körper selbst. Dieser erfährt während der Entladung verschiedene Aenderungen seines Zustandes, von welchen ich die Erwärmung, als die hier maassgebende, erwähne. Es wurde die Erwärmung beobachtet, welche verschiedene Körper bei der Entladung eines elektrisirten Körpers erfuhren, und ihnen ein desto geringeres Leitungsvermögen zugeschrieben, je wärmer sie geworden waren. Aber diese Versuche konnten zu keinem einfachen Gesetze führen, ehe die Gesetze bekannt waren, die durch eine andere Art der Untersuchung bestimmt wurden. In dieser

dritten, von mir angewandten, Untersuchungsweise wird nur ein Theil des entladenden Körpers verändert, die Erwärmung des andern Theiles untersucht, und aus der grösseren oder geringeren Erwärmung des unveränderten Theiles auf das grössere oder geringere Leitungsvermögen des veränderten geschlossen. Hierdurch erhält der Ausdruck Leitungsvermögen eine zweite Bedeutung, die hypothetisch mit der ersten identisch ist, insofern wir die grössere Erwärmung der geringeren Zeit zuschreiben, in welcher die elektrische Entladung vollendet ist. Die Erwärmung im unveränderten Theile des entladenden Körpers wird zum Maasse des ganzen Entladungsstromes genommen. Diese Bestimmung hat genaue und constante Resultate geliefert, die in einfache Gesetze vereinigt werden konnten, so dass jetzt der sogenannte Verzögerungswerth eines Drathes, der zu seinem Leitungswerthe in reciprokem Verhältnisse steht, aus der Kenntniss seines Stoffes und seiner Dimensionen mit Sicherheit abgeleitet werden kann. Dabei aber, und ich habe an mehren Stellen meiner Wärmeuntersuchungen darauf aufmerksam gemacht, ist vorausgesetzt, dass der elektrische Entladungsstrom, zu dessen Leitung ein solcher Drath verwendet werden soll, eine Dichtigkeit besitzt, die eine bestimmte Grösse nicht übersteigt. Mit Ueberschreitung dieser Gränze wird nämlich die Entladungsart, die ich als die continuirliche bezeichnet habe, gänzlich verändert, und damit hört die Gültigkeit des vorher bestimmten Verzögerungswerthes des Drathes auf. In einer frühern Abhandlung[1]) habe ich gezeigt, dass gewisse Wirkungen, wie Glühen und Schmelzen von Metallen, gar nicht durch die Entladungsart der Elektricität geleistet werden, für welche die Gesetze der elektrischen Erwärmung ermittelt worden sind, dass zur Hervorbringung dieser Wirkungen die Entladungsart der Elektricität durch Steigerung ihrer Dichtigkeit geändert werden muss, und dass damit zugleich der Verzögerungswerth der gebrauchten Metalldräthe periodischen Aen-

1) Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. 1845. 89.

derungen unterliegt. Ich habe dazu anhangsweise bemerkt, dass diese Aenderung der Entladungsart nicht nur in starren Körpern, sondern auch in Flüssigkeiten und in Luft vorkommt, und sich dort durch eine auffallend grosse Aenderung des Verzögerungswerthes der entladenden Körper bemerkbar macht. Der Einfluss der Stromleiter auf den Entladungsstrom der leydener Batterie wird daher als ein zwiefacher aufgefasst werden müssen. Erstlich verursacht der Leiter nach seiner Beschaffenheit eine Verzögerung des Fortschrittes des Stromes, er setzt ihm, nach dem beliebten Ausdrucke, einen Leitungswiderstand entgegen, ohne jedoch die Art des Fortschrittes zu ändern. Diese Wirkung des Leiters kann, als die bisher am eifrigsten und erfolgreichsten untersuchte und auf einfache Gesetze zurückgeführte, als die normale Wirkung betrachtet werden. Zweitens aber verändert der Leiter bei einer gewissen Beschaffenheit, die durch die Dichtigkeit des zu leitenden Stromes bestimmt wird, die Gangart der Entladung. Die in diesem Falle gemessene Stromstärke kann mit dem Werthe verglichen werden, den sie bei normaler Entladung besitzen würde. Diese Vergleichung bildet den Gegenstand der folgenden Untersuchung, die das bemerkenswerthe Resultat gegeben hat, dass bei Aenderung der Entladungsweise eine gänzliche Veränderung der Leitungsgesetze stattfindet. Nicht nur, was ich schon früher hervorgehoben habe, dass die Verzögerung der Entladung nicht mehr nach den geltenden Formeln zu berechnen ist, so kommen Fälle vor, in welchen die Stromstärke durch dieselben Umstände für die verschiedenen Entladungsarten in entgegengesetztem Sinne verändert wird. Die gewöhnliche Entladung, welche ich als die continuirliche bezeichnet habe, geht in die ungewöhnliche (discontinuirliche) durch Zwischenstufen über, und die Leitungsgesetze erhalten dabei eine solche Verwickelung, dass sich nicht hoffen lässt, ·ie auf einfache Regeln zurückzuführen.

Was die äussere Erscheinung der ungewöhnlichen Entladungsart betrifft, so ist sie in Luft und Wasser seit langer

Zeit bekannt und vielfach studirt worden, unter dem Namen der Lichterscheinungen der Elektricität. In einer nachgelassenen Schrift von Hausen[1]) finden sich zuerst die drei elektrischen Lichterscheinungen in Luft bestimmt von einander getrennt, die wir jetzt als die Funken-, die Büschel- und die Glimm-Entladung unterscheiden. Bei der Entladung in verdünnter Luft ist 1766 von Beccaria[2]) das Licht an der positiven Elektrode als Licht des Herausganges (sporgimento) von dem an der negativen, Licht der Anschwellung (ringorgo), getrennt worden. Die ausführlichste Untersuchung dieser Lichterscheinungen in Luft und Gasen hat Faraday in der 12ten und 13ten Reihe seiner Experimental-Untersuchungen gegeben und dabei die merkwürdige dunkele Entladung entdeckt. Die erste Beobachtung der ungewöhnlichen (leuchtenden) Entladung in Wasser ist von Beccaria[3]). In den philosophical Transactions for 1785[4]) hat Cadogan Morgan die wichtige Erfahrung hinzugefügt, dass diese Entladung desto schwieriger erfolgt, je besser leitend das Wasser ist, indem die Funken leichter in kaltem Wasser erhalten wurden, als in heissem, und gar nicht in Wasser, dem eine Säure hinzugesetzt war. Ich werde im Folgenden auf diese äusseren Erscheinungen der discontinuirlichen Entladung nur beiläufig eingehen, da sie keineswegs die nothwendigen Begleiter der discontinuirlichen Entladung sind, die sich in den veränderten Leitungsgesetzen ausspricht, ehe noch das Auge von der veränderten Entladung unterrichtet wird. Gerade diese dem Auge verborgenen Uebergänge der gewöhnlichen Entladungsart in eine andere sind dem Beobachter am gefährlichsten, und sie sind es, auf welche ich die Aufmerksamkeit am meisten zu lenken wünsche.

---

1) Novi profectus in historia electricitatis* Lips. 1743.
2) Elettric. artificiale. Torino 1772*. 52.
3) Elettr. art. 250.
4) Abridged by Hutton, Shaw and Pearson. 1809* 15. 673.

Aenderung der Entladung durch einen metallischen Stromleiter.

Untersucht man die Erwärmung, welche die Entladung einer leydener Batterie an einer constanten Stelle des Schliessungsbogens erregt, zu welchem beliebige, nach Stoff und Dimensionen bekannte Dräthe hinzugesetzt werden, so genügen bekanntlich zwei Beobachtungen, um alle übrigen Versuche, die ausserdem noch durch die Ladung der Batterie geändert werden können, auf das Genaueste zu berechnen. Ich stellte die einfachsten Versuche dieser Art an, indem ich die Batterie ungeändert liess (4 Flaschen, jede von 2,6 Quadratfuss innerer Belegung), dieselbe stets mit gleicher Elektricitätsmenge lud (22 Einheiten der Maassflasche, deren Kugeln 1/2 Linie von einander entfernt standen) und zum Schliessungsbogen, in auf einander folgenden Versuchen, sieben Dräthe hinzusetzte, die aus demselben Platin zu verschiedener Dicke gezogen waren, und im Schliessungsbogen genau 2 Zoll einnahmen. Die an constanter Stelle des Bogens untersuchte Erwärmung sollte daher allein abhangen von dem Halbmesser r des zugesetzten Drathes nach dem einfachen Ausdrucke $\Theta = \frac{a}{1 + \frac{b}{r^2}}$ in welchem ich aus dem ersten und vierten Versuche die Constanten bestimmt hatte (log. $a = 1{,}80322$, log. $b = 6{,}72647$). Dies war aber nicht der Fall, wie die folgende Zusammenstellung zeigt, in welcher die Erwärmungen Mittel aus drei Beobachtungen des elektrischen Thermometers sind.

Zahl des Versuches.	Halbmesser der eingeschalteten Dräthe.	Erwärmung im Schliessungsbogen beobachtet.	berechnet.	Unterschied in Theilen des berechn. Werthes.
1	0,06685 par. Lin.	56,8 Lin.	56,8	
2	5952	55,3	55,26	
3	5000	52,2	52,40	
4	4053	48	48	
5	2857	33,4	38,46	—0,132
6	2089	24,8	28,63	0,134
7	1850	16,6	19,19	0,135

In Bezug auf die Berechnung des letzten Versuches ist zu bemerken, dass, weil der Drath dabei zerstört wurde, nach frühern Versuchen nur 0,77 der angehäuften Elektricitätsmenge mit der ganzen Dichtigkeit in Rechnung gesetzt werden musste. Die Tafel zeigt, dass von den 7 nach abnehmender Dicke geordneten Platindräthen, die zu dem constanten auf Erwärmung untersuchten Schliessungsbogen hinzugesetzt wurden, die 4 ersten die angehäufte Elektricität genau nach den früher ermittelten Gesetzen leiteten, die letzten drei Dräthe aber bedeutend davon abwichen. Bei diesen Dräthen sind die beobachteten Erwärmungen nahe um ein Achtel des Werthes kleiner, als sie nach den Leitungsgesetzen sein sollten. Dem Platin würde, wenn wir es nach diesen Gesetzen beurtheilten, in den drei letzten Versuchen ein veränderliches, bedeutend geringeres Leitungsvermögen zukommen, als das constante in den vier ersten Versuchen, und zwar würde das Leitungsvermögen im sechsten Versuche grösser gefunden werden, als im fünften, also nicht unbedingt mit der Erhitzung des Platindrathes abnehmen. Die Versuche sind eine Folge des in meiner oben erwähnten Abhandlung erwiesenen Satzes, dass ein elektrischer Strom, der Metalle mechanisch verändert oder sie zum Glühen oder Schmelzen bringt, sich darin in ganz verschiedener Weise fortpflanzt, als in dem Falle, wo er keine solche Wirkung hervorbringt. Im siebenten Versuche wurde der Platindrath jedesmal glühend zersprengt, und im sechsten wurde er in ganzer Länge rothglühend. Auch im fünften Versuche, wo keine leuchtende Erscheinung die veränderte Entladungsart anzeigte, konnte nach öfterer Wiederholung die, als Merkmal für diese Entladung angegebene, stumpfwinklige Einbiegung des Drathes bemerkt werden. Dass der Einfluss, den die Dimensionen des Drathes auf die Entladungsart des Stromes haben, auch vom Stoffe des Stromleiters geübt wird, folgt aus der Erfahrung, dass sehr verschiedene elektrische Anhäufungen nöthig sind, um Dräthe verschiedenen Stoffes zum Glühen zu bringen. Die gewonnene Erfahrung lässt sich so ausdrücken. Die, durch die

Erwärmung gemessene, Stärke des Stromes hängt von drei Factoren ab: von der Menge, von der Dichtigkeit der in der Batterie angehäuften Elektricität, und von dem Leitungszustande des Schliessungsbogens. Die für die Stromstärke gefundenen Formeln gelten nur so lange, als die Entladung im Bogen continuirlich geschieht, und diese Art der Entladung wird, wenn die Ladung der Batterie constant erhalten wird, durch Stoff und Dimensionen des Schliessungsbogens bestimmt. Das Eintreten der ungewöhnlichen Entladung ist nicht immer an dem von ihr erfassten Stücke des Schliessungsbogens durch eine äussere Erscheinung sichtbar, wird es dann aber bei geringer Verstärkung der Ladung der Batterie. Um sich daher von einem gegebenen Drathe zu versichern, dass er eine gegebene Batterieladung in normaler Weise leite, und auf ihn die Leitungsgesetze anwendbar seien, ist es nöthig, die Ladung der Batterie zu verstärken, und darauf zu achten, ob nicht der Drath erschüttert wird oder eine Einbiegung erhält.

Je besser das Metall eines Drathes die Elektricität in normaler Entladungsart leitet, desto dünner muss er sein, um eine gegebene Batterieladung in ungewöhnlicher Weise zu entladen. Es wird dies durch die verschiedene Batterieladung sichtlich gemacht, welche Dräthe verschiedenen Metalles bedürfen, um in's Glühen zu gelangen. Wendet man daher bei gleicher Batterieladung verschiedenartige Dräthe zur Entladung an, so kann es kommen, dass der aus besserleitendem Stoffe die Entladung normal leitet, während der andere schon die ungewöhnliche Entladung veranlasst. Dies ist bei der Bestimmung des Leitungsvermögens der Metalle zu beachten, wobei zur Vermeidung grosser Längen, gewöhnlich dünne Dräthe gebraucht werden. Da bei der ungewöhnlichen Entladung der Verzögerungswerth grösser erscheint, als bei der gewöhnlichen, so ist die Folge, dass in dem Falle einer zwiefachen Entladungsart, der Unterschied im Leitungsvermögen der geprüften Metalle grösser gefunden wird, als er ist. Die grössere Leichtigkeit, mit welcher die ungewöhnliche Entladung in den schlechteren

Leitern zu Stande kommt, erklärt eine auffallende Erscheinung bei der Theilung des elektrischen Stromes. Hat sich nämlich der Strom zwischen Zweige von sehr verschiedenem Leitungsvermögen zu theilen, so geht er, nach dem bekannten Gesetze der Theilung, fast vollständig durch den besseren Leiter. Dies ist so lange der Fall, als die continuirliche Entladungsweise statt hat; tritt bei gesteigerter Elektricitätsmenge oder verringerten Dimensionen des guten Leiters, in diesem die discontinuirliche Entladung auf, so kann ein grosser Theil des Stromes durch den schlechten Leiter gehen. So sah van Marum[1]) einen 36 Zoll langen Eisendrath, der durch eine starke Ladung seiner Batterie in's Glühen versetzt wurde, mit einer breiten Lichthülle umgeben, und Erfahrungen bei Blitzschlägen geben dafür Belege, dass ein Theil des Blitzes auch bei vorhandener Leitung durch zusammenhängendes Metall, durch den viel schlechter leitenden menschlichen Körper und durch Luft geht. Ich werde weiter unten hierzu einen Versuch in verdünnter Luft anführen.

Aenderung der Entladung durch einen flüssigen Stromleiter.

Die Genauigkeit, welche bei metallischer Schliessung den Messungen der Stromstärke am Thermometer mit leichter Mühe gegeben werden kann, ist nicht zu erreichen, wenn die Schliessung an einer Stelle durch eine Flüssigkeit unterbrochen ist. Dennoch eignen sich diese Versuche ganz besonders, den Einfluss des Stromleiters auf die Entladungsart zu zeigen, da die Stromstärke hier, je nach der Entladungsart, ausserordentlich verschieden ist, und die Entladungsart sehr leicht wechselt. Im vorigen Abschnitte habe ich den Leitungswerth des veränderlichen Stückes der Schliessung durch die Dicke eines und desselben Metalles geändert; hier war es bequemer, die Aenderung am Stoffe selbst, ohne Aenderung seiner Dimensionen, vorzunehmen,

1) Beschreibung einer Elektrisirmaschine. 2te Forts. 1798*. 48.

indem das Leitungsvermögen von destillirtem Wasser durch Zusatz von Kochsalz allmählig gesteigert wurde. Ein Trog von Guttapercha, 8 1/4 Zoll lang, 1 3/4 Zoll breit und hoch, wurde mit 15 Unzen destillirten Wassers gefüllt. Zwei dicke, mit Glasröhren bekleidete und an einem Glasstabe befestigte, vertikal in das Wasser gehängte, Kupferdräthe trugen am untern Ende Klemmen, mittels welcher zwei, fast 1 Linie dicke, Platindräthe horizontal einander gegenübergestellt waren. Die ebenen Endflächen der Platindräthe waren 1/2 Linie von einander entfernt. Diese Vorrichtung wurde in den Schliessungsbogen einer, aus drei Flaschen bestehenden, Batterie eingeschaltet, die stets mit derselben Elektricitätsmenge (14 der früher angegebenen Einheit) geladen war. Ein in der Schliessung befindliches Thermometer gab die Stromstärke bei der Entladung an. Vor jeder Beobachtung wurden die Elektroden aus dem Wasser genommen, die einander zugewandten Platinflächen mit Fliesspapier getrocknet und mit Sandpapier gerieben. In der folgenden Tafel sind die einzelnen Beobachtungen verzeichnet, in der Ordnung, in welcher sie erhalten wurden; die erste Spalte gibt das Gewicht des getrockneten Kochsalzes an, das im Wasser gelöst war.

in 7200 Gran Wasser gelöstes Chlornatrium.	Erwärmung im Schliessungsbogen.						Mittel.
	91	86,5	85,3	70,3	83	71,8	81,3
3 Gran	14,8	15	11,7	9,1	12	13	12,6
6	6	5,7	6	5,7	5,6	6	5,8
9	6,3	7,3	6,8	7,0	7,7	7	7
12	8,7	8,7	9	8,8	9,2	9	8,9
24	15	15	15,3	15	15,2	15,2	15,1
48	24,3	24,6	23,4	23,5	23,8	23,7	23,9

Der Gang der Stromstärke in diesen Versuchen ist sehr auffallend. Im Gegensatze zu der Erfahrung, dass reines Wasser ein unvollkommener Leiter der Elektricität ist, dessen Leitungsvermögen durch Zusatz von Kochsalz eine grosse Verbesserung erfährt, sieht man in den ersten beiden

Reihen durch einen geringen Zusatz von Kochsalz (0,041 Procent) die Stromstärke von 81,3 bis 12,6 sinken. Die begleitende Entladungserscheinung gibt keinen Aufschluss über den Grund dieser Abnahme, da sie in beiden Reihen dieselbe war, ein blendender Funke, der mit dumpfem Knalle durch das Wasser ging. In der dritten Reihe erschien weder Funke noch Geräusch, es war eine sichtliche Aenderung der Entladung eingetreten, und damit ein weiteres Sinken der Stromstärke bis 5,8. Von hier an blieb die Entladungsart die normale, continuirliche, und die mit der Menge des gelösten Salzes steigende Stromstärke den bisherigen Erfahrungen entsprechend. Betrachten wir die Beobachtungsreihe in umgekehrter Ordnung, als in welcher sie angestellt war, so folgt, dass wenn eine bestimmte elektrische Ladung durch eine Salzlösung entladen wird, deren Leitungsvermögen durch Entziehung des gelösten Salzes successiv verringert wird, der Entladungsstrom so lange an Stärke abnimmt, als die continuirliche Entladungsart statt findet. Bei einem gewissen Grade des verminderten Leitungsvermögens der Flüssigkeit wird die Entladungsart geändert, und damit tritt eine Verstärkung des Stromes ein. Bei fortdauernder Verminderung des Leitungsvermögens nimmt auch die Aenderung der Entladungsart zu und der Strom erreicht, wenn das Salz vollständig aus dem Wasser entfernt ist, eine so auffallende Stärke, dass sie auch der flüchtigsten Beobachtung nicht entgehen kann. Durch die am schlechtesten leitende Flüssigkeit ist in den hier mitgetheilten Versuchen eine Stromstärke hervorgebracht worden, die bei normaler Entladungsart nur durch eine sehr vollkommen leitende Flüssigkeit hätte erzeugt werden können. Während also bei dem metallischen Stromleiter der Wechsel der Entladungsart, bei Verminderung seines Leitungswerthes, nur in der Nichtübereinstimmung der genau ermittelten Werthe der Stromstärke mit den nach den Leitungsgesetzen berechneten hervortrat, ist bei Anwendung eines flüssigen Stromleiters die veränderte Entladung durch die im entgegengesetzten Sinne veränderte Stromstärke unmittelbar deutlich.

Aber noch durch einen andern Umstand ist der flüssige Stromleiter zur Demonstration der verschiedenen Entladungsarten besonders geeignet. Wenn bei dem metallischen Stromleiter die Bedingungen zur ungewöhnlichen Entladung vorhanden sind, so ist es nicht möglich, die normale Entladung herbeizuführen, und so direct den Unterschied des Einflusses beider Entladungsarten auf die Stromstärke zu zeigen. Dies ist bei dem flüssigen Stromleiter sehr leicht, ja es macht sich von selbst, wenn man einen Versuch öfter wiederholt. Ich habe oben bei der Beschreibung der Versuchsweise gesagt, dass vor jedem Versuche die Elektroden aus dem Wasser gehoben, getrocknet und die einander gegenüberstehenden Platinflächen mit Sandpapier gerieben wurden. Unterlässt man diese Vorsichtsmaassregel nach einem Versuche, der eine Funkenentladung im Wasser gegeben hat, so erscheint bei der Wiederholung des Versuches die Stromstärke gewöhnlich kleiner, und nach öfterer Wiederholung bleibt der Funke unfehlbar aus. Als die Elektroden im destillirten Wasser stehen blieben, gaben die drei ersten Versuche die Stromstärken 76 67,5 60,8, bei dem vierten und jedem folgenden Versuche wurde weder Funke noch Erwärmung beobachtet. So erhielt ich im Mittel aus mehren Versuchen, in welchen die Entladung licht- und geräuschlos statt fand,

in destillirtem Wasser statt der Stromstärke 81,3 keine wahrnehmbare,
in Wasser mit 0,041 proc. Kochsalz „ „ 12,6 die Stromstärke 3,6.

Deutlicher ist der Unterschied der discontinuirlichen und continuirlichen Entladungsart wol kaum aufzuzeigen. Zugleich ist durch diese Versuche nachgewiesen, dass bei der Funkenentladung in der schwachen Kochsalzlösung die Entladung, trotz der gleichen Erscheinung, in anderer Weise vor sich geht, als im destillirten Wasser, da durch Verwandlung dieser Entladung in die continuirliche zwar eine grosse Verringerung der Stromstärke bewirkt wurde, diese Verringerung aber viel kleiner war, als im destillirten

Wasser. Es fand daher entweder im Salzwasser die Entladung theils continuirlich, theils discontinuirlich statt, oder sie bildete, was wahrscheinlicher ist, eine von beiden Arten verschiedene Entladungsart.

Den Grund der merkwürdigen Aenderung der discontinuirlichen Entladung in die continuirliche durch die Wirkung einer vorangegangenen Entladung suchte ich anfangs in der Bildung von Salpetersäure in dem lufthaltigen Wasser, und dem durch Capillaranziehung bewirkten Anhaften derselben an den Elektrodenflächen. Aber dagegen sprach die Erfahrung, dass die continuirliche Entladung auch nach Verlauf von 2 Stunden statt fand, wenn die Elektroden während der Zeit im Wasser geblieben waren, dass die Elektroden darin heftig geschwenkt werden durften, und dass die Erscheinung nicht geändert wurde, wenn auch das Wasser vor dem Versuche lange Zeit im Kochen erhalten worden war. Es gab kein anderes Mittel, die durch eine vorangegangene Entladung verlorene Funkenentladung wieder zu erhalten, als die Elektroden aus dem Wasser zu nehmen; häufig genügte danach das Trocknen mit Fliesspapier, oder freiwilliges Trocknen, dem die Elektroden einige Zeit lang ausgesetzt wurden, unfehlbar aber wirkte das Reiben der Elektrodenflächen mit Sandpapier. Der Grund der Hinderung der Funkenentladung war demnach zu suchen in dem Zustande der Reinheit, den nach Faraday's schöner Entdeckung die Elektroden annehmen, die einen voltaischen Strom in eine zersetzbare Flüssigkeit leiten, wonach die veränderten Metallflächen vollständig von der Flüssigkeit genetzt werden (experim. research. 588. 633). Hatte eine solche Aenderung des Oberflächenzustandes der Elektroden auch durch den Entladungsstrom der leydener Batterie statt gefunden, so diente das Abreiben mit Sandpapier dazu, den früheren Zustand der Oberfläche wieder herzustellen, und das Benetzen durch die Flüssigkeit zu erschweren. Hierzu gab es aber ein einfacheres Mittel, das Bestreichen der Elektroden mit Olivenöl, und dies bewährte sich auf das Vollkommenste. An den Platinelektroden, welche, nach voran-

gegangenen Entladungen nur die continuirliche Ladung gestatteten und daher im Thermometer keine merkliche Erwärmung hervorbrachten, wurden die Endflächen mit einer dünnen Oelhaut bekleidet, indem sie mit einem frisch geölten Papiere gerieben wurden. In das Wasser gebracht, gaben diese Elektroden in 10 kurz nach einander angestellten Versuchen die Funkenentladung, und dabei wurden im Thermometer folgende, durch ihre Uebereinstimmung bemerkenswerthe Stromstärken beobachtet: 91 89 85 86 84 84 82 86 89 83. Hierauf wurden die Elektroden aus dem Wasser genommen und durch Fliesspapier von ihrer Oelhaut befreit. Die nächsten drei Beobachtungen gaben die Stromstärken 71,5 0 0; in den beiden letzten Fällen war wiederum die normale Entladung eingetreten. Die Oelhaut wirkt eine längere Zeit hindurch, wird aber durch wiederholte elektrische Entladungen entfernt. Ich liess die mit Oel gestrichenen Elektroden im Wasser, und entlud durch sie die Batterie in langen Zwischenräumen. Nach der 10ten Entladung, die 70 Stunden nach der ersten statt fand, blieb die Wirkung des Oeles aus. Die Wirksamkeit des Oeles wird noch viel auffallender, wenn man sie unter Umständen prüft, die sonst keine Funkenentladung zulassen. Es ist seit Cadogan Morgan's Versuchen bekannt, dass, um bei gegebener Entfernung der Elektroden Funken in einer Flüssigkeit zu erzeugen, eine desto stärkere Ladung der Batterie erfordert wird, je besser leitend die Flüssigkeit ist. In den oben mitgetheilten Versuchen war die Dichtigkeit der Elektricität so gewählt, dass nur in der schwächsten Salzlösung eine discontinuirliche Entladung statt fand. Es war daher bei Anwendung der stärkeren Salzlösungen kein Funke erschienen. Als hingegen die Flächen der Elektroden mit einer Oelhaut bedeckt wurden, erhielt ich Funken in allen angewandten Lösungen[1]. Der Unterschied der Stromstär-

1) Noch wirksamer als Olivenöl ist starres Fett. Als die Flächen der Elektroden mit Butter oder Schweineschmalz gestrichen waren, ging die hier gebrauchte Ladung der Batterie mit Funken durch eine Salzlösung mit 9,4 proc. Kochsalz (eine stärkere Lösung habe ich nicht

ken bei continuirlicher und discontinuirlicher Entladung war desto geringer, je concentrirter die Lösung war, was dahin deutet, dass es mehr und weniger discontinuirliche Entladungen gibt. So fand ich bei

	continuirliche		discontinuirliche Entl.	
Wass. mit 0,16 % Kochsalz die Stromstärk.	7,3	7,3	43	40,7
„ „ 0,66 „ „ „ „	20	19,6	26,7	31,7

Diese Versuche, die weiter auszuführen hier nicht der Ort ist, bestätigen auf lehrreiche Weise die Vermuthung, die ich früher[1]) über den Mechanismus der discontinuirlichen Entladungsart geäussert habe. Das Wesen dieser Entladungsart wurde dahin bestimmt, dass die Entladung, die bei der normalen Art von einem Querschnitte des Stromleiters zu dem nächstfolgenden continuirlich fortschreitet, an einem Querschnitte stockt, der dadurch eine grössere elektrische Dichtigkeit erhält, als früher, und dass sich in Folge davon die Entladung von diesem Querschnitte zu einem entfernter liegenden stossweise fortpflanzt. Bei grosser Dichtigkeit der in der Batterie angehäuften Elektricität findet diese Entladungsweise in jedem Körper unbedingt statt. Wir sehen nun in den mitgetheilten Versuchen die Bedingung zu dieser Entladung in destillirtem Wasser durch die Dichtigkeit der angehäuften Elektricität gegeben, aber dennoch die Entladung nicht statt finden, wenn nicht eine äussere Veranlassung des Stockens der Entladung hinzukommt. Diese in gewisser Beziehung zufällige Veranlassung gibt die vorhandene Unreinheit der Elektrodenflächen, der zufolge diese Flächen mit dem nächsten Querschnitte der Flüssigkeit nicht in unmittelbare Berührung kommen. Wird diese Veranlassung durch eine Wirkung der discontinuirlichen Entladung selbst gehoben, kommt die Elektrode in innige Berührung mit der Flüssigkeit, so tritt wieder die continuirliche Entladung ein. Ein weit kräftigeres Hinder-

---

versucht). Der Funke war röthlich und das ihn begleitende Geräusch schwach.

1) Poggendorff's Ann. 78. 445. Elektricitätslehre §. 653.

niss für die Fortschreitung der Entladung, als die natürliche Unreinheit der Metallfläche, und daher eine wirksamere Einleitung der discontinuirlichen Entladung bietet der dünnste Ueberzug mit einer Oelhaut, wobei es sehr merkwürdig ist, dass auch in den Salzlösungen, für welche die gebrauchte Dichtigkeit der Ladung tief unter der Grösse stand, mit welcher die Entladung in der Lösung intermittiren würde, eine discontinuirliche Entladung eintrat, wenn die Oelhaut das erste Stocken der Entladung veranlasst hatte. Diese Thatsache schliesst sich der früher von mir angeführten Erfahrung an, dass, wenn eine in Luft intermittirende Entladung (ein Funke) eine Metallfläche trifft, die Entladung auch noch in einer messbaren Tiefe im Metalle discontinuirlich statt findet, wie sich an der daselbst nach längerer Einwirkung deutlichen Veränderung des Metalles zeigen lässt. Auch scheint mir damit, wie hier beiläufig erwähnt wird, die Ursache von Erscheinungen deutlich zu werden, die andern Gebieten der Elektricitätslehre angehören. An einer mächtigen voltaischen Batterie, wie mir Herr Magnus vor längerer Zeit zu zeigen die Güte hatte, ist ein mit dem einen Pole verbundenes Geldstück leicht zu schmelzen, wenn demselben das Ende des andern Poldrathes bis zu einer kleinen Entfernung genähert wird. An einem Magneto-Inductionsapparate kann man sich leicht davon überzeugen, dass von 2 dünnen in die inducirte Schliessung eingeschalteten Platindräthen, das Ende des einen (mit dem negativen Pole verbundenen) Drathes zum Glühen und Schmelzen kommt, wenn es etwa $^1/_{10}$ Linie von dem andern Drathende entfernt ist, während beide Dräthe dunkel bleiben bei Berührung ihrer Enden. Ich glaube, dass in diesen Versuchen der Luftzwischenraum dieselbe Rolle spielt, wie die Oelhaut in den Versuchen an der leydener Batterie. So wie eine elektrische Ladung, die in einer Salzlösung continuirlich entladen würde, durch die Oelhaut an den Elektrodenflächen veranlasst wird, discontinuirlich überzugehen, so wird in den Schmelzversuchen der Luftraum zwischen den Elektroden die Veranlassung einer

discontinuirlichen Entladung in der nächsten Metallstrecke, und in Folge davon des Glühens und Schmelzens derselben.

Aenderung der Entladung durch verdünnte Luft.

Es ist lange Zeit eine Streitfrage gewesen, die viele zum Theil schwierige Versuche veranlasst hat, ob die Luft durch Verdünnung an Leitungsvermögen für Elektricität gewinnt oder verliert. Die Schwierigkeit der Beantwortung dieser Frage entstand dadurch, dass die Verschiedenheit der elektrischen Entladung nicht berücksichtigt wurde. Die Luft hat in Bezug auf die continuirliche, lichtlose Entladung, die gewöhnlich Zerstreuung der Elektricität genannt wird, ein sehr geringes Leitungsvermögen, das mit Verdünnung der Luft abnimmt. Aber die discontinuirliche, leuchtende, Entladung kommt in Luft leicht zu Stande, leichter als in Wasser und Metall, und zwar um desto leichter, je dünner die Luft ist. Eine Elektricitätsmenge von gegebener Dichtigkeit, die in einem Luftraume von gewöhnlicher Dichte nur die Zerstreuung erfährt, kann bei Verdünnung der Luft entladen werden, wenn durch diese Verdünnung die Entladungsart verändert wird. Dieser sehr bekannte Fall ist ganz analog dem im vorigen Abschnitte behandelten, wo in einer starken Salzlösung die Entladung continuirlich erfolgte, und discontinuirlich in einer verdünnten Lösung. Aber bei der Luft tritt noch die Verwickelung hinzu, dass es nicht nur verschiedene Arten der discontinuirlichen Entladung gibt, die je nach der Verdünnung der Luft wechseln, sondern dass, bei gewisser Beschaffenheit der Elektroden, die Entladungsart durch die Richtung des zu entladenden Stromes bedingt wird. Von den verschiedenen discontinuirlichen Entladungen in Luft werden die sogenannten Funken-, Büschel- und Glimm-Entladungen in verschiedenen, und zwar in dieser Ordnung zunehmenden Zeiten ausgeführt, so dass, wenn eine gegebene Elektricitätsmenge durch Funken entladen wird, im Schliessungsbogen die stärkste, wenn durch Glimmentladung, die schwächste Stromstärke bemerkt wird. Wenn ein Schliessungsbogen durch einen Luftraum

von gewöhnlicher Dichte unterbrochen ist, den die angewandte elektrische Ladung unter Funkenerscheinung durchbricht, so ist die Stromstärke nur wenig geringer, als wenn der Luftraum fehlt. Bei allmähliger Verdünnung der Luftmasse würde die Stromstärke zunehmen, wenn nicht diese Verdünnung zugleich bewirkte, dass die Funkenentladung in eine andere Entladungsart übergeht, die eine geringere Stromstärke zur Folge hat. Je nach Gestalt und Entfernung der Elektroden überwiegt bei gegebener Luftdichte die eine oder andere Wirkung auf die Stromstärke, die aber, selbst bei grossen Unterschieden der Luftdichte, sehr klein bleibt, und nur einer Reihe von Beobachtungen entnommen werden kann. Wenn hingegen bei fortgesetzter Verdünnung, was unter gewöhnlichen Umständen stets geschieht, die Glimmentladung eintritt, so ist damit eine niemals zu verkennende Schwächung der Stromstärke gegeben. Dieser Gang der Stromstärke, bei dem Durchbrechen einer Luftschicht verschiedener Dichte durch eine constante Batterie-Ladung, ist in der folgenden Versuchsreihe sichtbar, welche der bequemeren Ausführung wegen, in umgekehrter Ordnung angestellt worden ist. Es wurde mit der grössten Luftverdünnung begonnen und so lange mit Zulassen von Luft fortgefahren, als die Ladung leuchtend überging. Die Batterie bestand aus 3 Flaschen, die stets mit der Elektricitätsmenge 10 der früher angegebenen Einheit geladen wurden. Die Elektroden waren Messingkugeln von $4\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, die, 5 Linien von einander entfernt, an Messingstielen in einem Glascylinder von $3\frac{3}{4}$ Zoll Höhe, 1 Zoll $5\frac{1}{2}$ Lin. Weite einander gegenüberstanden. Die Stromstärken sind Mittel aus 3 Beobachtungen des Thermometers.

Quecksilberdruck der Luft. Linien	1	5	10	20	40	60	80	100
Stromstärke in d. Schliessung	29,2	34,2	36,6	37,8	39,5	37	38,5	keine Entl.

Bei Veränderung der Luftdichte von 80 bis 20 Linien Druck erlitt die Stromstärke im Schliessungsbogen eine nur geringe Aenderung, nahm dann stetig ab, und wurde bei Verminderung des Druckes von 5 bis 1 Linie bedeutend verringert. Diese Schwächung war noch etwas grösser, als sie erschien, da nur bei 1 Linie Luftdruck die Batterie vollständig entladen wurde und bei den übrigen Versuchen ein kleinèr Rückstand darin blieb. Dass die Abnahme der Stromstärke mit Verdünnung der Luft wirklich der Aenderung der Entladungsart zuzuschreiben ist, und nicht durch die Annahme eines abnehmenden Leitungsvermögens der Luft erklärt wird, lässt sich leicht zeigen. Wäre diese Annahme begründet, so müsste derselbe Gang der Stromstärke bemerkt werden, was auch für Elektroden angewendet würden. Ich nahm zur oberen Elektrode einen Platindrath von $^1/_2$ Millimeter Dicke, der durch die Deckplatte des Glascylinders hindurchging und in der Fläche der Platte endigte, so dass nur ein Querschnitt des Drathes mit der Luft im Cylinder in Berührung kam. Eine gleiche Elektrode wurde angebracht in einer Glasscheibe von 1 Zoll Durchmesser, die auf dem untern Metallstiele im Cylinder befestigt wurde. Die Entfernung der beiden kleinen Platinflächen von einander, zwischen welchen die Entladung durch Luft statt fand, betrug 5 Linien, die Ladung der Batterie war die frühere.

Quecksilberdruck d. Luft. Lin.	1	5	10	20	40
Stromstärke	35,3	36,2	35,4	35,6	34,8

Quecksilberdruck. Lin.	80	120	160	200	240
Stromstärke	33,7	33,8	33,8	32	keine Entl.

Die Stromstärke, die bei 200 Linien Druck 32 betrug, stieg durch Verdünnung der Luft, und betrug bei 1 Linie Druck 35,3; sie befolgte also den entgegengesetzten Gang von dem in der vorigen Reihe. Den Grund hiervon gibt die Erfahrung, die ich in den Berichten der Akademie 1855 S. 400 mitgetheilt habe, dass keine glimmende Entladung

statt findet, wenn in sehr dünner Luft die negative Elektrode eine geringe Ausdehnung besitzt. Es fiel demnach hier die Bedingung der Schwächung des Stromes fort: die Verwandlung der Funkenentladung in die glimmende. Dieser, je nach der Grösse der negativen Elektrode, entgegengesetzte Einfluss der Verdünnung der Luft auf die Stromstärke lässt sich bequemer aufzeigen, wenn man zwei verschieden grosse Elektroden anwendet, und die Entladung abwechselnd in entgegengesetzter Richtung durch den Cylinder gehen lässt. Es wurde zur oberen Elektrode die kleine Platinfläche in der Deckplatte des Cylinders, die als Spitze bezeichnet werden soll, zur unteren die früher gebrauchte Messingkugel genommen, zwischen beiden ein Zwischenraum von 5 Linien gelassen. Die Ladung der Batterie war die frühere. Bei jeder Luftdichte wurde der Cylinder geschlossen, auf eine isolirende Platte gestellt, und das Innere der Batterie erst mit der oberen, dann mit der unteren Elektrode in Verbindung gesetzt. Folgende sind die aus drei Beobachtungen hergeleiteten Stromstärken.

Luftdruck in Linien	1	5	10	20	40
Stromstärke bei positiv. Spitze	23,4	26,9	30,9	30,4	30,2
„ „ „ Kugel	32,5	32,2	31	30,3	29,6

Luftdruck in Linien	80	120	160	200
Stromstärke bei positiv. Spitze	30	30,3	30,7	keine Entl.
„ „ „ Kugel	30,4	30,5	30,6	keine Entl.

Durch Verdünnung der Luft ist die Stromstärke 30,7 bei positiver Spitze bis 23,4 geschwächt, bei positiver Kugel bis 32,5 gestärkt worden. Eine Folge hiervon ist die in meiner frühern Mittheilung untersuchte grosse Differenz der Stärke eines Entladungsstromes, wenn seine Richtung in sehr dünner Luft gewendet wird. Diese Differenz ist je nach der Entfernung der Elektroden nur bis zu einer gewissen Luftdichte merklich; hier ist sie schon bei Luft von 10 Linien Druck nicht mehr sichtbar, während sie in dem früher gegebenen Beispiele, wo die Elektroden 10 Linien

von einander entfernt waren, erst bei 30 Linien Druck verschwand. (Unten S. 143.)

Der oben angeführte Satz, dass die discontinuirliche Entladung in verdünnter Luft leichter als in Metall zu Stande kommt, wird durch folgende Versuche bewiesen. In dem bisher gebrauchten Glascylinder wurden die Elektroden durch einen 2 Zoll langen, 0,119 Linie dicken Platindrath mit einander verbunden, und bei möglichst verschiedener Dichtigkeit der Luft im Cylinder die Stromstärken im Schliessungsbogen bestimmt, welche durch Entladung von vier Flaschen erhalten wurden. Die Flaschen wurden mit verschiedenen Elektricitätsmengen geladen; neben der beobachteten Erwärmung ist die berechnete (*a*) angegeben, die für die Einheit der Ladung gilt.

	Luftdruck 27¾ Zoll.		Luftdruck 1 Linie.	
Elektricitätsmenge.	Erwärmung.	*a*	Erwärmung.	*a*
12	24,8	0,69	26	0,72
16	42	0,66	41,6	0,65
20	65,5	0,66	66,7	0,67
24	96,6	0,67	97,5	0,68
	Mittel	0,67	Mittel	0,68

Die beiden Mittel der Erwärmung zeigen, dass die Stromstärke im Schliessungsbogen nicht wesentlich verschieden war, der eingeschaltete Platindrath mochte in Luft von gewöhnlicher Dichte oder von 1 Linie Quecksilberdruck stehen. Wie die Werthe von *a* lehren, war auch die stärkste der angewandten Ladungen noch mit continuirlicher Entladung durch den Drath gegangen. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird der Unterschied der Stromstärken sehr gross, je nachdem die den Drath umgebende Luft dicht oder dünn ist. Um, wie überall in dieser Abhandlung, bei zu vergleichenden Versuchen die Ladung der Batterie constant erhalten zu können, wurde der Platindrath im Glascylinder durch einen dünneren ersetzt (0,042 Lin. Dicke). Die Wiederholung der vorigen Versuchsreihe gab folgende Stromstärken.

Elektricitätsmenge.	Luftdruck 27½ Zoll. Erwärmung [1].	*a.*	Luftdruck 1 Linie. Erwärmung.	*a.*
12	19,7	0,55	19,4	0,54
16	32,1	0,50	34,5	0,54
20	44,5	0,45	62,7	0,63
24	55	0,38	104	0,72

Die stetig abnehmenden Werthe von *a* für die Versuche bei vollem Luftdrucke lehren, dass hier die Entladung discontinuirlich geschah, wie auch der Anblick des Drathes lehrte, der bei Entladung der Elektricitätsmenge 24 dunkel glühte. War die den Drath umgebende Luft bis 1 Linie Druck verdünnt, so ergab die erste Beobachtung dieselbe Stromstärke, wie vorher, zum Zeichen, dass hier noch die continuirliche Entladungsart statt fand; bei den folgenden Versuchen nahm die Stromstärke bedeutend zu und erreichte in der letzten Beobachtung fast das Doppelte des früheren Werthes. Die grössere Stromstärke konnte nur dadurch herbeigeführt sein, dass die Entladung gleichzeitig durch den Metalldrath und die ihn umgebende dünne Luft statt fand, wie auch der Augenschein darthat. Es folgt hieraus, dass so lange eine gegebene Elektricitätsmenge sich in einem Drathe continuirlich fortpflanzt, die Entladung nur durch den Drath geschieht, und die ihn umgebende dünne Luft sich als Isolator verhält; dass hingegen, wenn die Entladung im Drathe discontinuirlich geschieht, sie auch in einer Zweigbahn durch die Luft geht, diese also die Rolle eines Leiters spielt. So ist die von Harris gemachte Erfahrung erklärlich, dass es einer viel grösseren Ladung der Batterie bedarf, um einen Drath in dünner, als in dichter Luft zum Glühen und Schmelzen zu bringen. Als die Elektricitäts-

---

1) Beiläufig sei bemerkt, dass hier nur die Verhältnisse der Erwärmungen bei dünner und dichter Luft, nicht die Erwärmungen selbst mit denen der vorigen Tafel verglichen werden dürfen. Diese wurden zwar an demselben Thermometer beobachtet; es hatte aber zu seinem Schutze an den Schliessungsbogen ein Kupferzweig angelegt werden müssen, der das Thermometer umgab. Der Zweig hatte bei den Versuchen der vorigen Tafel 29 Zoll Länge bei 5/8 Linie Dicke, bei den hier angeführten 45 Zoll Länge bei 13/24 Linie Dicke.

menge 28 durch den zuletzt gebrauchten Drath in dünner Luft entladen wurde, erschien der Glascylinder mit Licht erfüllt, und der Drath blieb, bis auf eine schwache Einbiegung, unversehrt. Als ich den Versuch bei vollem Luftdrucke wiederholte, wurde der Drath hellglühend in mehre Stücke zerrissen.

Die Versuche dieser Abhandlung sind möglichst einfach gehalten, und deshalb die Aenderungen der Entladungsart allein durch Dicke und Beschaffenheit der Stromleiter bewirkt worden. Zum Schlusse will ich einen zwar verwickelten und keiner Genauigkeit fähigen, aber in mehrfacher Beziehung lehrreichen Versuch beschreiben, in welchem die Entladungsart in freier Luft durch den Abstand der Elektroden geändert wird. Dass bei constanter Dichtigkeit der Luft die Entladungsart und Stromstärke geändert wird durch die Entfernung der Elektroden, ist an der Batterie mit Hülfe von zwei Metallspitzen zu zeigen, die in freier Luft in den Schliessungsbogen eingeschaltet und in verschiedenen Abstand von einander gebracht werden. An dem Conductor der Elektrisirmaschine bedient man sich zu gleichem Zwecke einer stumpfen Metallspitze, die dem Conductor genähert und durch einen Drath, in den ein elektrisches Thermometer eingeschaltet ist, mit der Erde verbunden wird. Besonders auffallend wird aber dieser Versuch, wenn man dabei die Erfahrung benutzt, die Gross gemacht und nach sorgfältiger Beobachtung in einer eigenen Schrift [1]) beschrieben hat, derzufolge man von dem Conductor mittels eines eigenthümlich geformten Metallstückes kurze und lange Funken erhält, aber keine von dazwischen liegender Länge. Ich schraubte an das Ende des Conductors einer Elektrisirmaschine einen im Winkel gebogenen Messingdrath, dessen freier, 8 Zoll langer, $2^1/_3$ Linien dicker, Schenkel horizontal lag und mit einer Messingkugel von 1 Zoll Durchmesser endigte. In der Verlängerung des horizontalen Schenkels war ein $2^1/_3$ Linien dicker Messingdrath in einer

1) Elektrische Pausen von Johann Friedrich Gross.* Leipzig 1776.

Metallhülse verschiebbar und endigte, der Kugel gegenüber, in einem Metallstücke, das die Form eines geraden Cylinders hat, auf den ein abgestumpfter gleichseitiger Kegel aufgesetzt ist. Der cylinderförmige Theil des Metallstückes ist 8½ Linien breit, 2¼ Linien hoch, die Seitenlinie des abgestumpften Kegels beträgt 7¼ Linien, der Durchmesser des Abstumpfungskreises 1¼ Linie. Die Metallhülse war auf einem Glasstabe an der Kante eines Tisches befestigt, so dass der Raum zwischen der Kugel und dem Metallstücke von dem Tische entfernt war. Von der Hülse war ein Drath, in den ein elektrisches Thermometer eingeschaltet war, zu der allgemeinen Ableitung geführt, mit der auch das Reibzeug der Maschine verbunden war. Die Maschine wurde gleichförmig so lange gedreht, bis die Flüssigkeit im Thermometer ihren tiefsten Stand erreicht hatte. Ich erhielt in einer Versuchsreihe die folgenden Werthe der Erwärmung bei allmählig vergrösserter Entfernung des beschriebenen Metallstückes von der Kugel am Conductor.

Entfernung d. Elektroden. Zoll	¼	½	¾	1	1½	2
Erwärmung	10	7	2	0	0	0

Entfernung d. Elektroden. Zoll	2½	3	3½	4	4¼	4½
Erwärmung	4	10	9	9	4	0

Diese bei zunehmender Entfernung der Elektroden beobachteten Erwärmungen (deren absolute Zahlenwerthe begreiflich nur als ein Beispiel gegeben sind und mit der Wirksamkeit der Maschine variiren) befolgen einen sehr auffallenden Gang. Wenn die Funken zwischen zwei Kugeln übergehen, so nimmt bis zum Abstande der Kugeln von 1 Zoll, die Erwärmung im Drathe eher zu als ab, weil mit vergrössertem Abstande die übergehende Elektricität zwar an Menge geringer wird, aber an Dichtigkeit zunimmt. Hier sieht man in den ersten drei Beobachtungen die Erwärmung schnell sinken, zum Zeichen, dass die Entladungsart, der erscheinenden Funken ungeachtet, sich immer mehr der Büschelentladung nähert. Bei 1 Zoll Abstand erscheint diese Entladungsart auch dem Auge, und damit hört jede Spur von

Erwärmung auf. Das Ausbleiben von Funken und Erwärmung dauert bei 1 ½ und 2 Zoll Abstand fort. Bei 2 ½ Zoll tritt wieder die Funkenbüschel-, und bei 3 Zoll die reine Funken-Entladung ein, die bis 4 ¼ Zoll die beobachteten Erwärmungen erklärt. Man hat also hier das überraschende Beispiel, dass bei fortdauernd steigender Entfernung der Elektroden die Funken- in die Büschel-Entladung und diese wiederum in jene übergeht. Verwickelt sind die Versuche dadurch, dass sie durch die specielle Anordnung der Elektricität auf der Kugel bedingt sind, welche durch die Nähe des gerade so und nicht anders abgestumpften Kegels hervorgebracht wird, und bei verschiedener Entfernung der Elektroden eine sehr verschiedene ist. Aendert man bei einer Entfernung, welche die Büschel-Entladung gibt, die elektrische Anordnung auf den Elektroden durch Annäherung eines Leiters, so wird damit die Entladungsart und die Erwärmung geändert. Aus diesem Grunde konnte Gross bei den Entfernungen der Elektroden, welche keine Funken gaben, diese wieder erhalten, wenn er einen fremden Körper in die Nähe des Schlagraumes brachte. In den oben mitgetheilten Versuchen wurde bei Entfernung der Elektroden von 1 Zoll keine Erwärmung erhalten. Als ich ein kleines Brett in dem Abstande von 2 Zoll unter dem Schlagraume befestigte, wurde im Thermometer eine Erwärmung von 7 Linien beobachtet. Die Büschel-Entladung war in eine aus Büscheln und Funken zusammengesetzte Entladung übergegangen.

Ueber den Durchgang elektrischer Ströme durch verdünnte Luft.*

Herr Gaugain in Paris hat eine interessante Beobachtung gemacht, indem er einen Magneto-Inductionsstrom durch einen mit verdünnter Luft gefüllten Glasballon zwischen

* Monatsber. der Akad. der Wiss. 1855. 393.

zwei Metallkugeln übergehen liess, von welchen die eine, bis auf eine sehr kleine Stelle, mit einer isolirenden Substanz bekleidet war [1]). Es war nämlich, ausser jenem Glasballon, in den inducirten Drath ein Galvanometer eingeschaltet, und dieses zeigte eine starke Ablenkung, wenn die nackte Kugel negativ war, wenn also, nach der üblichen Bezeichnung, ein elektrischer Strom von der bedeckten zur nackten Kugel ging, zeigte hingegen keine Ablenkung bei entgegengesetzter Richtung des Stromes. Der Beobachter schrieb danach dem Oeffnungsstrome des Inductions-Apparats die Eigenschaft zu, nur in der Richtung von der bedeckten zur nackten Kugel durch den Glasballon gehen zu können, den er deshalb als ein elektrisches Ventil bezeichnete. Die folgende Untersuchung wird lehren, dass der Schluss ungegründet und der Name, wenigstens in der ausgesprochenen Bedeutung, nicht passend ist.

Um den Gaugain'schen Versuch anzustellen, bekleidete ich an einem hohlen, mit Metallplatten geschlossenen, niedrigen Glascylinder, die untere Platte und den darauf befestigten Metallstiel und dessen Kugel mit geschmolzenem Siegellack, und liess an der Kugel nur die oberste Stelle, in der Grösse eines Stecknadelknopfes blank. Etwa $^3/_4$ Zoll über dieser Kugel befand sich eine ähnliche, aber blanke Metallkugel an einem in der obern Platte befestigten Stiele. Zur Erregung des Magneto-Inductionsstromes benutzte ich einen in Betracht seiner Grösse sehr wirksamen Apparat von Siemens und Halske, den ich früher beschrieben habe [2]). An diesem Apparate hat die äussere, inducirte Drathrolle eine Länge von 30 Linien bei einer Breite von 27 Linien; der voltaische Strom der Hauptrolle, in welcher ein Eisendrathbündel lose liegt, wird durch die von Neeff vor langer Zeit eingeführte Wagner'sche Zunge unterbrochen und geschlossen. Die Enden der inducirten Rolle wurden durch einen Drath verbunden, in den das Gewinde

1) Compt. rend. 40. 640. Pogg. Ann. 95. 163.
2) Poggendorff's Annal. 91. 290.

eines Galvanometers mit Doppelnadel und der beschriebene Glascylinder, in welchem die Luft bis 1 Linie Quecksilberdruck verdünnt war, eingeschaltet waren. Die eine Kugel im Cylinder war daher direct mit einem Pole der Inductionsrolle, die andere Kugel durch das Gewinde des Galvanometers mit dem andern Pole verbunden. Durch einen Commutator konnte die Lage des Glascylinders umgekehrt werden, so dass z. B., wenn vorher die bedeckte Kugel positiv (mit dem positiven Pole der Inductionsrolle verbunden) war, es jetzt die nackte Kugel wurde. *Positiv* wird derjenige Pol der Inductionsrolle genannt, welcher, bei Verbindung beider Pole durch einen mit Jodkaliumlösung befeuchteten Papierstreifen, Jod entwickelt, wenn der voltaische Strom in der Hauptrolle unterbrochen wird. Man findet diesen Pol sehr leicht, wenn man zwei spitz zugeschnittene federnde Metallstreifen auf passende Weise, mit einander zugewandten Spitzen, so befestigt, dass die Entfernung der Spitzen geändert werden kann, und zwischen diese Spitzen einen Streifen dünnen Schreibpapiers klemmt. Verbindet man jede Spitze mit einem Pole der Inductionsrolle und nähert die Spitzen einander, bis zwischen ihnen ein fortwährender Funkenstrom entsteht, so sieht man diesen Funkenstrom, so lange das Papier nicht sichtlich verletzt ist, nur auf Einer Papierfläche übergehen. Die Metallspitze, welche diese Fläche berührt, führt, einer bekannten Eigenschaft der positiven Elektricität gemäss, zu dem positiven Pole der Inductionsrolle. Ich benutzte ein Grove'sches Element zur Erregung des Inductions-Apparats, zog aber, weil der Strom damit zu stark wurde, das Eisenbündel zur Hälfte aus der Hauptrolle heraus. Als die bedeckte Kugel im Glascylinder mit dem positiven Pole der Inductionsrolle verbunden war, wurde die Nadel des Galvanometers sogleich nach einer bestimmten Seite abgelenkt und blieb mit Schwankungen bei etwa 30°. War hingegen die nackte Kugel positiv, so blieb die Nadel einige Sekunden lang unbewegt, und schlug dann zur einen oder andern Seite des Nullpunkts um wenige Grade aus. Es hatte also in der That

den Anschein, als ob der Oeffnungs-Inductionsstrom von der bedeckten zur nackten Kugel vollständig und leicht, hingegen von der nackten zur bedeckten Kugel gar nicht, oder nur schwer und theilweise überginge. Gegen diese Auslegung des Versuches sprach aber sogleich das Licht im Cylinder, das in beiden Fällen gesehen wurde, und zwar (bei vollem Tage und beschattetem Cylinder) in ziemlich gleicher Gestalt; nur fiel es auf, dass in dem Falle, wo die Nadel abgelenkt wurde, das Licht ruhiger und gleichmässiger erschien, als in dem andern Falle. Ich ging später zu einer genaueren Untersuchung der Lichterscheinung; es schien mir ein weiteres Experimentiren an dem complicirtesten aller elektrischen Ströme, den der Inductions-Apparat liefert, von keinem Nutzen zu sein, ehe ich über die vorliegende Erscheinung Erfahrungen an dem einfachsten elektrischen Strome, dem der leydener Batterie, gesammelt hatte.

Versuche an der leydener Batterie.

Ich liess mir folgenden einfachen und bequemen Apparat anfertigen. Ein hohler Cylinder aus sehr dickem Glase von 3 Zoll 9 Linien Höhe, 1 Zoll 5 $^1/_2$ Linien innerem Durchmesser, ist an der einen Basis vollkommen eben abgeschliffen, an der andern durch eine Messingfassung geschlossen, die in einen Hahn und eine Schraubenspindel, zum Aufschrauben auf die Luftpumpe, fortsetzt. Von dieser Fassung geht im Innern des Cylinders eine schlanke Messinghülse aus, in der ein Messingstift mit daran geschraubter Kugel auf- und abzuschieben ist. Der Cylinder wird durch eine aufgelegte mit Fett bestrichene Glasscheibe luftdicht abgeschlossen. Die Glasscheibe ist in der Mitte fein durchbohrt, darauf ist ein zolllanger Elfenbeinstab gekittet, der eine Klemme zur Befestigung des Leitungsdraths trägt. Von der Klemme geht ein $^1/_2$ Millimeter dicker Platindrath durch das Elfenbein und ist in der Glasplatte festgekittet, deren untere Fläche zugleich mit dem Drathende abgeschliffen ist. In der Ebene der unteren Glasfläche wird daher eine Platinscheibe von $^1/_2$ Millimeter Durchmesser gebildet, zwischen

welcher und der darunter stehenden Messingkugel die Elektricität übergehen kann. Die kleine Platinscheibe soll als Spitze bezeichnet werden [1]). Nachdem die Kugel (Diam. 4 1/2 Linien) von der Platinfläche 10 Linien entfernt, und die Luft im Cylinder bis 1 Linie Druck verdünnt war, wurde der Apparat und ein empfindliches elektrisches Thermometer in den Schliessungsbogen einer aus drei Flaschen bestehenden elektrischen Batterie gebracht. Die Verbindung des Apparats mit dem Schliessungsbogen wurde abwechselnd so hergestellt, dass die Kugel im Cylinder bei der Entladung entweder die positive oder die negative Elektrode bildete. In der folgenden Tafel ist der Theil im Cylinder angegeben, der mit dem Innern der Batterie in Verbindung stand, damit die Art der Ladung der Batterie zu erkennen sei. Die Aufschrift: „Spitze +" zeigt also, dass die Batterie mit positiver, „Kugel —", dass sie mit negativer Elektricität geladen worden, indess in Betreff der Richtung des Entladungsstromes beide Fälle nicht von einander verschieden sind. Folgende sind die (einmal beobachteten) Werthe der Erwärmung des Thermometers bei verschiedener Ladung der Batterie; die Kugeln der Maassflasche zur Messung der in die Batterie geführten Elektricitätsmenge standen 1/2 Linie von einander entfernt.

Erwärmung im Schliessungsbogen bei Unterbrechung desselben durch Luft von 1 Linie Quecksilberdruck.

Elektricitätsmenge.	Spitze.	Kugel.	Spitze.	Kugel.	Kugel.	Spitze.
	+	+	+	+	—	—
4	6	10,5	5,3	10,7	6	10,2
5	8,5	16	8,4	15	8	14,3
6	13,5	21,5	14	21	13,6	21,3
7	18,7	29,3	19,7	30	17,5	28,8
Einheit d. Ladung	1,10	1,87	1,11	1,85	1,07	1,78.

Vergleicht man irgend zwei einzelne Erwärmungen durch gleiche Ladung der Batterie, die in verschiedener Richtung

1) Im ersten Abdrucke Fläche. In später vorkommenden zahlreichen Versuchen ist die Kugel im Cylinder durch eine Scheibe ersetzt und diese „Fläche", die kleine Platinfläche der Deckplatte „Spitze" genannt worden. Ich habe deshalb hier die Bezeichnung geändert.

durch den verdünnten Luftraum entladen wurde, so findet man die Erwärmung bei einer bestimmten Richtung grösser, als bei der andern. Man erhält als Mittel aus allen Beobachtungen folgendes Verhältniss der Erwärmungen:

Richtung des Entladungsstromes von der Spitze zur Kugel: Erwärmung 100
Richtung des Entladungsstromes von der Kugel zur Spitze: Erwärmung . . . . 168.

In einer andern Versuchsreihe stand die Kugel im Glascylinder 32 ½ Linien von der Platinspitze entfernt.

Elektricitätsmenge.	Spitze.	Kugel.	Spitze.	Kugel.
5	9,5	6,7	9,2	7
6	15	10,3	15	10
7	17,7	13,7	17	13
8	26,3	18,5	27	18,2
Einheit der Ladung	1,18	0,84	1,16	0,83.

Hier ist das Verhältniss im Mittel:

Strom von der Spitze zur Kugel: Erwärmung 100
„ „ „ Kugel „ Spitze: „ 140.

Um stärkere Ladungen der Batterie (bis zur Elektricitätsmenge 16) anwenden zu können, vertauschte ich den sehr dünnen Platindrath im Thermometer mit einem dickeren und fand im Mittel aus je 4 Beobachtungen bei der Richtung des Stromes von der Spitze zur Kugel die Erwärmung 100, und bei entgegengesetzter Richtung 130. Es wurde die Kugel im Glascylinder mit einer horizontalen Messingscheibe von 11 Linien Durchmesser vertauscht, und diese 1 Linie von der Platinfläche der Deckplatte entfernt. Es fand sich bei der Richtung des Stromes von der Spitze zur Scheibe die Erwärmung 100, bei entgegengesetzter Richtung 122. Ich entfernte die Scheibe, so dass nur der 2 Zoll 11 Lin. lange Messingstiel im Cylinder blieb, dessen Ende von der Platinspitze 10 Linien entfernt war. Die Erwärmung war 122, als der Strom von dem Stiele zur Spitze ging, wenn die Erwärmung bei entgegengesetzter Richtung

100 gesetzt wird. Endlich wurde der Schliessungsbogen durch einen 16 Fuss langen, 0,057 Linie dicken Platindrath verlängert, in dem Cylinder wieder die Kugel 10 Linien von der Platinspitze entfernt und die Ladung der Batterie bis zur Elektricitätsmenge 16 gesteigert. Im Mittel war, die Erwärmung bei Richtung des Stromes von der Spitze zur Kugel 100 gesetzt, diese Erwärmung 105 bei entgegengesetzter Richtung. In allen Versuchen, und ich habe deren viele angestellt, in welchen der Entladungsstrom der Batterie durch sehr dünne Luft (1 bis 2 Linien Druck) zwischen einer kleinen und einer verhältnissmässig grossen, sonst beliebig gestalteten, Metallfläche überging, war ein Unterschied der Erwärmung des Schliessungsbogens je nach der Richtung des Stromes merklich, und dieser Unterschied, bald grösser bald kleiner, fand ohne Ausnahme in demselben Sinne statt. Man sieht in den mitgetheilten Versuchen, dass die *grössere* Erwärmung stets bei einer Richtung des Stromes eintrat, bei welcher in dem zu Anfange beigebrachten Versuche der Magneto-Inductionsstrom keine oder eine geringe Ablenkung der Magnetnadel hervorbrachte. *Wenn der Entladungsstrom der leydener Batterie durch sehr dünne Luft zwischen einer sehr kleinen und einer dagegen grossen Metallfläche übergeht, so ist die Erwärmung im übrigen Schliessungsbogen grösser, wenn der Strom von der grossen zur kleinen Fläche geht, als im entgegengesetzten Falle.* Was unter einer sehr kleinen Fläche zu verstehen ist, wird weiter unten erörtert werden.

Der Grund dieser merkwürdigen, bisher unbekannten Weise, eine Wirkung der elektrischen Entladung zu verändern, lässt sich leicht bekannten Erfahrungen entnehmen. Ich versicherte mich, dass bei beiden Richtungen des Stromes die Entladung der Batterie gleich vollständig erfolgte. Da der Schliessungsbogen in beiden Fällen dieselbe Zusammensetzung hatte, so konnte es nur die *Art* der Entladung sein, welche den Unterschied der Erwärmung bedingte. Dass bei Veränderung der Entladungsart die Erwärmung im Schliessungsbogen geändert wird, ist bekanntlich in auffal-

lendster Weise zu zeigen. Man unterbreche den Schliessungsbogen durch eine, zwischen Metallplatten befindliche, kurze Schicht destillirten Wassers, und wende die stärkste Ladung der Batterie an, welche noch geräuschlos durch das Wasser geht. Es ist ein empfindliches elektrisches Thermometer nöthig, um die geringe Wärme aufzuzeigen, die dabei im Schliessungsdrathe erregt wird. Bringt man aber die Platten im Wasser einander um ein Unmerkliches näher, so geht die Ladung mit einem Funken hindurch, und zugleich wird die Erwärmung im Schliessungsdrathe so stark, dass das Thermometer nicht mehr zu ihrer Messung genügt. Oder man lasse die Ladung in freier Luft zwischen einer Kugel und einer sehr feinen Spitze übergehen, deren Entfernung so regulirt ist, dass kein Funke zwischen ihnen entsteht. Die Erwärmung im Schliessungsdrathe wird sehr gering sein; wogegen sie sehr stark wird, wenn man die feine Spitze mit einer abgestumpften vertauscht, und dadurch veranlasst, dass zwischen beiden Elektroden ein Funke entsteht. Man hat in beiden Fällen, wo der Funke erschien, die Zeit, in welcher dieselbe Elektricitätsmenge entladen wird, ausserordentlich verkürzt, und dadurch, nach einem bekannten Gesetze, die Wärmeerregung verstärkt. Wie wir nun in Wasser und freier Luft die Art der Entladung der Batterie geändert haben durch Näherung der Elektroden und durch Aenderung der Form der einen Elektrode, so können wir, wie die neuen Versuche lehren, in sehr dünner Luft Dasselbe bewirken durch Beschränkung der negativen Elektrode. Der Batteriestrom kann durch dünne Luft zwischen beliebig gestalteten Elektroden auf zwei wesentlich verschiedene Arten hindurchgehen. Bei der ersten Art, welche die glimmende heissen mag, nimmt ein röthlich leuchtender Luftkegel Theil an der Entladung, dessen Spitze die positive Elektrode berührt und dessen Basis stets in einiger Entfernung von der negativen Elektrode liegt. An der negativen Elektrode nimmt die einen grossen Theil dieser Elektrode berührende Luftschicht in geringer Höhe an der Entladung Theil, und glimmt mit einem eigenthümlich blauen

Lichte. — Die zweite Art der Entladung ist die, welche ich vorzugsweise die discontinuirliche genannt habe. Ein schmaler, beide Elektroden berührender Luftcylinder nimmt Antheil an der Entladung, wird weissglühend und auseinandergesprengt, in eben der Weise, wie es ein Metalldrath wird, der beide Elektroden miteinander verbindet und dessen Durchmesser unter einer, für jede Ladung der Batterie bestimmten Gränze liegt. Während die glimmende Entladung so langsam geschieht, dass die Flächen beider Elektroden unverletzt bleiben, und im ganzen Schliessungsbogen nur geringe Wärme erregt wird, reisst die discontinuirliche Entladung Theile von den Elektroden los, schleudert sie glühend fort und erhitzt den Schliessungsbogen. Bei jeder Entfernung der Elektroden von einander kann die glimmende Entladung in die discontinuirliche verwandelt werden durch Steigerung der Dichtigkeit der entladenen Elektricitätsmenge, durch Zulassen von Luft oder endlich, und das ist die Folgerung, zu welcher die neuen Versuche berechtigen, durch Beschränkung der negativen Elektrode. Ist nämlich die Fläche der negativen Elektrode sehr klein in Vergleich zu der Fläche, die bei der gebrauchten Dichtigkeit der entladenen Elektricitätsmenge mit Glimmlicht bedeckt würde, so geht die Elektricität mit discontinuirlicher Entladung über, die sonst glimmend sich entladen hätte. Mit dieser merkwürdigen Folgerung stehen die beigebrachten Versuche in vollem Einklange. Als der Entladungsstrom von der Platinspitze im Glascylinder zu der blanken Kugel, dem Messingstiel und der Bodenplatte ging, die negative Elektrode also eine hinreichende Ausdehnung hatte, so musste von den vielen Partialentladungen, die mit abnehmender Dichtigkeit einander folgen und die Entladung der Batterie ausmachen, ein Theil der letzten Entladungen, wegen zu geringer Dichtigkeit, mit glimmender Entladung übergehen, und daher für die Erwärmung unwirksam bleiben. Ging hingegen der Strom von der Kugel zur Platinspitze, so war die negative Elektrode beschränkt, und ein Theil der glimmenden Entladungen wurde in discontinuirliche verwandelt,

und dadurch für die Erwärmung wirksam. Es musste also, wie gefunden wurde, wenn die Entladung von der Spitze zur Kugel ging, die Wärme im übrigen Schliessungsbogen kleiner sein, als wenn die Entladung die entgegengesetzte Richtung hatte. Dass die Zahl der glimmenden und durch die Umkehrung des Stromes wirksam werdenden Entladungen verschieden ist bei verschiedener Gestalt und Entfernung der Elektroden, leuchtet ein und bedarf keiner weiteren Erörterung. So können auch Fälle vorkommen, wo der Unterschied der Erwärmung unmerklich ist; aber wo er auftritt, muss er in dem gebotenen Sinne stattfinden, und Dies habe ich ohne Ausnahme bestätigt gefunden. Die gegebene Erklärung wird auch durch den Augenschein unterstützt. Betrachtet man den Cylinder bei mässiger Dunkelheit, während die Entladung von der Kugel zur Spitze geht, so sieht man ein helles Licht in dem Zwischenraume zwischen den Elektroden, während Kugel und Stiel nur schwach leuchten. Wie beiläufig bemerkt wird, ist diese glänzende Lichtmasse zwischen den Elektroden grell zweifarbig, an der negativen Elektrode röthlich-violett, an der positiven grünlich-blau. Geht hingegen die Entladung von der Spitze zur Kugel, so erscheint ein breiter röthlicher Lichtstreifen nicht nur zwischen den Elektroden, sondern, über Kugel und Stiel sich fortziehend, in der ganzen Länge des Glascylinders. Im letzten Falle nimmt die Erklärung einen grossen Theil der Entladungen glimmend an.

In freier Luft, wenn der Entladungsfunke zwischen einer sehr kleinen Fläche und einer Kugel übergeht, ist kein Unterschied der Erwärmung im Schliessungsbogen bei verschiedener Richtung des Stromes zu finden, es blieb daher die Gränze der Luftverdünnung zu suchen, bei welcher dieser Unterschied noch merklich ist. Der Glascylinder wurde auf die Luftpumpe geschraubt und in dauernde Verbindung mit der Barometerprobe gesetzt; Fuss und Klemme des Cylinders wurden durch lange Kupferdräthe mit dem Schliessungsbogen der Batterie verbunden, in dem sich das Thermometer befand. Die Kugel im Cylinder stand von der

Spitze 10 Linien entfernt. In der folgenden Zusammenstellung sind die Erwärmungen für die Einheit der Ladung angegeben, die aus je vier Beobachtungen des Thermometers berechnet wurden, in der vierten Zeile ist der Werth der Erwärmung bei positiver Kugel angegeben, wenn die Erwärmung bei gleichem Luftdrucke und positiver Spitze = 100 gesetzt ist.

Erwärmungen im Schliessungsbogen bei Unterbrechung desselben durch verdünnte Luft.

Luftdruck	1	5	10	20	30	40 par. Lin.
A. Spitze positiv	0,85	1,02	0,93	0,94	1,09	1,18
B. Kugel positiv	1,28	1,13	0,96	0,96	1,08	1,19
Verhältniss von *B* zu *A*	150	111	103	102	100	100

Die Verstärkung der Wärme bei Umkehrung der Entladung im Glascylinder, durch welche die Kugel von der negativen Elektrode zur positiven wird, nimmt also mit zunehmendem Luftdrucke schnell ab, und ist schon bei 30 Linien Druck nicht mehr merklich. Einen schönen Beleg zu dem Satze, dass bei diesen Versuchen zwei wesentlich von einander verschiedene Entladungsarten der Elektricität wirken, liefert der Umstand, dass in Zeile *A* die grösste Erwärmung bei Einschaltung der dichtesten Luft (Druck 40 Lin.), und in Zeile *B* bei Einschaltung der dünnsten Luft (1 Lin. Druck) bemerkt wird. Wo nämlich ein grosser Theil der Partialentladungen glimmend geschah, musste das Zulassen von Luft das Glimmen verhindern und dadurch diese Entladungen zur Erregung der Wärme geschickt machen, wo hingegen die Mehrzahl der Partialentladungen discontinuirlich erfolgte, hatte die vermehrte Luftmasse die Wirkung, die Zeit zwischen den einzelnen Partialentladungen zu vergrössern, und damit die Erregung der Wärme zu vermindern. Da beide, in Bezug auf die Erwärmung, entgegengesetzte Wirkungen bei jedem Versuche zugleich stattfinden, so darf es nicht auffallen, dass bald die eine, bald die andere Wirkung überwiegt. So muss man, um die Beobachtung bei 5 Lin. Druck in Zeile *A* zu erklären, an-

nehmen, dass bei Veränderung der Luftmasse von 1 bis 5 die Wirkung durch Verhindern des Glimmens die überwiegende ist, während bei 10 Lin. Druck die Verzögerung der discontinuirlichen Entladung in der Beobachtung merklich wird. Von 40 Lin. Druck an scheint bei beiden Zuständen der Elektroden nur Eine Art der Entladung, die discontinuirliche, statt zu finden, und wirklich ist es mir schon bei 30 Lin. Druck nicht mehr möglich gewesen, einen Unterschied der Lichterscheinung im Cylinder zu finden, wenn die Kugel positiv oder negativ war. In beiden Fällen erschien ein heller breiter Lichtstreifen allein in dem Raume zwischen den Elektroden.

Eine Ablenkung der Galvanometernadel durch die Entladung der Batterie, nach ihrem Durchgange durch die bis 1 Lin. Druck verdünnte Luft, zu erhalten, gelang nicht, wie vorauszusehen war. Als mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine das eine Ende des Galvanometer-Gewindes durch einen Drath und den Cylinder mit verdünnter Luft verbunden, das andere Ende zur Erde abgeleitet war, erfolgte bei dem Drehen der Maschine eine bedeutende Ablenkung der Nadel, die aber keine constante Verschiedenheit nach der Lage des Cylinders im Drathe zeigte, was ebenfalls, bei der Unsicherheit des Versuches, nicht auffallen kann.

Versuche am Inductionsapparate.

Der zu Anfange beschriebene kleine Inductionsapparat wurde durch ein Daniell'sches Element erregt, das Eisendrathbündel zur Hälfte aus der Hauptrolle gezogen. In der Schliessung der inducirten Drathrolle befand sich das Gewinde eines empfindlichen Galvanometers, ferner der an der leydener Batterie gebrauchte Glascylinder, in welchem die Luft bis 1 oder $1^{1}/_{2}$ Linie Druck verdünnt war, und ein Commutator, der die Richtung des Inductionsstromes im Glascylinder umkehrte, im übrigen Theile der Nebenschliessung aber ungeändert liess. Diese Stellung des Commutators ist der Vereinfachung sowol der Beschreibung als des

Versuches selbst wegen gewählt; bringt man den Commutator so an, dass er den Inductionsstrom in der ganzen Nebenschliessung, oder gar den voltaischen Strom in der Hauptrolle wendet, so erfolgt ein hörbar verändertes Spiel der Zunge am Inductionsapparate, das den Versuch noch verwickelter macht, als er schon für sich ist. Im Cylinder befand sich eine $4^1/_2$ Linie dicke Messingkugel, die zuerst 10 Lin. von der Platinspitze des Cylinders entfernt wurde. Als die Spitze positive Elektrode war (mit dem zu Anfange definirten positiven Pole der Inductionsrolle verbunden), wurde die Nadel des Galvanometers bis zum Maximum (70°) nach der, der Richtung des Stromes entsprechenden Seite abgelenkt (*normal*). Wurde die Kugel zur positiven Elektrode gemacht, so erfolgte eine Ablenkung von etwa 10° nach der andern Seite (*anomal*). Bei Wiederholung des Versuches trat bei positiver Kugel eine normale Ablenkung von 10° ein. Die Kugel wurde 17 Linien von der Spitze entfernt; bei negativer Kugel hatte ich 40 bis 50 Grad normaler Ablenkung, bei positiver Kugel eine geringe anomale, die später in eine geringe normale überging. Bei 32 Linien Entfernung von Kugel und Spitze musste der Inductionsstrom durch tieferes Hineinschieben des Eisenbündels in die Hauptrolle verstärkt werden, damit der Uebergang des Stromes im Cylinder erfolgte. Die Ablenkung war bei beiden Lagen der Elektroden normal, aber bei negativer Kugel stärker als bei positiver. Eine kleinere Kugel ($3^1/_2$ Linien Durchmesser) wurde von der Spitze der Deckplatte $11^1/_3$ Lin. entfernt. Als die Kugel negativ war, betrug die Ablenkung 60° und war normal, bei positiver Kugel war die Ablenkung nach der Schliessung des Stromes Null, und ging in eine normale oder anomale von 10° über. Die Kugel wurde mit einer horizontalen, 11 Lin. breiten, Messingscheibe vertauscht, die 14 Linien von der Platinspitze entfernt war. Bei negativer Scheibe erfolgte die Ablenkung normal bis zum Maximum, bei positiver anomal und betrug etwa 20°. Diese Versuche, die ich vielfach variirt habe, zeigten das Gemeinsame, dass, wenn die kleine Platinfläche positiv war,

die Ablenkung der Nadel stets normal und stetig gleich nach der Schliessung des Inductionskreises eintrat, wenn hingegen jene Fläche negativ war, die Ablenkung zögernd und ruckweise erfolgte. Dass im letzten Falle die Ablenkung zuweilen anomal ist, hat auch Herr Gaugain beobachtet, er hat aber diese Beobachtung fallen lassen, deren Berücksichtigung den irrigen Schluss, den er aus seinen Versuchen gezogen hat, verhindert haben würde. Es ist nämlich unzweifelhaft, dass bei diesen Versuchen zwei entgegengesetzt gerichtete Inductionsströme wirken, der Strom bei dem Oeffnen der Hauptrolle, in Bezug auf welchen die Pole der Inductionsrolle bezeichnet werden, und der Strom bei Schliessung der Hauptrolle, für den die Pole die entgegengesetzte Bezeichnung erhalten müssen. Noch leichter, als durch das Galvanometer, kann man sich an einem Zersetzungsapparate von der Wirkung der beiden entgegengesetzten Ströme überzeugen. Ausser dem Galvanometer und dem Cylinder mit verdünnter Luft, in welchem eine Kugel 10 Linien von der Spitze entfernt stand, wurden in die Schliessung der Inductionsrolle zwei Platinspitzen eingeschaltet, die etwa 1 Zoll von einander auf einem mit Jodkaliumlösung befeuchteten Papiere standen. Ein Commutator gab, wie früher, dem Inductionsstrome allein im Glascylinder die verschiedene Richtung. Als die Spitze im Cylinder mit dem positiven Pole der Inductionsrolle verbunden war, erschien in sieben angestellten Versuchen der Jodfleck nur unter derjenigen Zersetzungsspitze, welche der Richtung des Oeffnungsstromes nach positiv war; als die Spitze hingegen mit dem negativen Pole in Verbindung stand, fand sich, unter dreizehn Versuchen, der Jodfleck achtmal nur unter der andern Zersetzungsspitze, fünfmal unter beiden Spitzen. Als die Kugel im Cylinder 17 Linien von der Spitze entfernt war, entstand der Jodfleck bei positiver Spitze im Cylinder fünfmal unter der nach dem Oeffnungsstrome beurtheilten positiven Zersetzungsspitze, bei negativer Fläche viermal unter der andern Spitze.

Wenn man den Gesammtstrom des Magneto-Inductionsap-

parates durch sehr verdünnte Luft zwischen einer sehr kleinen und einer dagegen grossen Fläche übergehen lässt, so geht, wenn die kleine Fläche durch den Oeffnungsstrom positiv wird, nur der Oeffnungsstrom über. Wenn hingegen die kleine Fläche durch den Oeffnungsstrom negativ wird, so geht ausser diesem Strome auch der Schliessungsstrom über. Dass durch einen Luftraum nur der Oeffnungsstrom übergeht, war seit lange bekannt und ist eine Folge der geringen Dichtigkeit des Schliessungsstromes, die, wie Poggendorff gezeigt hat[1]), davon herrührt, dass bei der Bildung des Schliessungsstromes ein geschlossener leitender Kreis sich in der Nähe der inducirten Rolle befindet. Indess Gaugain aus seinen Versuchen schloss, dass der Oeffnungsstrom durch sehr verdünnte Luft bei einer gewissen Gestaltung der Elektroden *nicht* übergeht, folgt aus der vorliegenden Untersuchung, dass in diesem Falle neben dem Oeffnungsstrome auch der Schliessungsstrom mit übergeht. Wollte man also dem Gaugain'schen Apparate den Namen des Ventils lassen, so müsste man es als ein Ventil, nicht für den Oeffnungsstrom, sondern für den Schliessungsstrom betrachten. Der Anblick der Lichterscheinung im Glascylinder gibt eine fernere Bestätigung des hervorgehobenen Satzes, deren er freilich nicht bedarf. Ich liess, um das Licht schärfer sehen zu können, die im Cylinder gebrauchte Messingkugel und Scheibe schwarz beitzen, wodurch die Leitung an ihrer Oberfläche nicht wesentlich verschlechtert wurde. Wenn die Spitze positiv ist, tritt jene gefällige Lichterscheinung ein, die auch zwischen zwei gleichen Kugeln stattfindet, und häufig beschrieben worden ist. Von der Spitze geht ein gut begränzter Kegel röthlichen Lichtes zur negativen Elektrode und endigt in einiger Entfernung davon, so dass zwischen der Basis des Kegels und der negativen Elektrode ein breiter Raum dunkel bleibt. Die negative Elektrode, sie mochte eine Kugel oder Scheibe sein, war an ganzer Oberfläche von einer schön blauen Lichthülle umgeben, die sich über

1) Monatsberichte 1855. 30. Poggendorff's Annal. 94. 318.

den Stiel hinzog. Das Licht war dauernd gleich hell und ruhig. War hingegen die kleine Fläche negativ, so fiel sogleich auf, dass das Licht, unruhig flackernd, häufig seine Intensität änderte. Hatte ich den Strom so regulirt, dass keine oder nur eine geringe Ablenkung der Magnetnadel erfolgte, so war die Lichtgestalt der früheren ziemlich ähnlich. Nur war die röthliche Lichtmasse der positiven Elektrode ohne bestimmte Begränzung, sie breitete sich aus und erstreckte sich bis zur negativen Elektrode, ohne einen dunkeln Raum freizulassen. Die negative Elektrode leuchtete blau, aber nicht auf ganzer Fläche, an der Kugel nur die vordere Schale, an der Scheibe die vordere Fläche. Wurde der Strom verstärkt, so war das blaue Licht auf eine noch kleinere Stelle beschränkt, und wurde von breiten röthlichen Lichtgarben, die zwischen den Elektroden aufleuchteten, momentan verdeckt Hat man diese Lichtgestalten einmal im Dunkel betrachtet, so ist es leicht, an ihnen, auch am hellen Tage bei beschattetem Cylinder, zu erkennen, welche Verbindung der Elektroden mit der Inductionsrolle statthabe.

Zur Erklärung der Erscheinungen am Inductionsapparate führen die an der leydener Batterie gewonnenen Erfahrungen. Es ist gezeigt worden, dass die in der Batterie angehäufte positive Elektricität eine geringere Wärme im Schliessungsbogen erregt, wenn sie in der dünnen Luft von der kleinen zur grossen Fläche geht. Dasselbe findet statt für den Oeffnungsstrom des Inductionsapparates. Es wurde in dem Glascylinder die Messingscheibe 1 Linie von der Spitze der Deckplatte entfernt, und der Cylinder nebst einem empfindlichen elektrischen Thermometer in die Schliessung der Inductionsrolle gebracht. Die Erwärmung war im Allgemeinen gering, aber deutlich geringer bei der Richtung des Oeffnungsstromes von der kleinen zur grossen Fläche, als im entgegengesetzten Falle. Als die grosse Scheibe negativ war, sank die Flüssigkeit im Thermometer um 1 bis 3 Linien, wenn die Scheibe positiv war, um 5 bis 6 Linien. Ein ganz constantes Resultat erhielt ich, als ich den Strom in der Richtung von der grossen Fläche zur kleinen eine

längere Zeit fortwirken liess, bis die Flüssigkeit im Thermometer ihren tiefsten Stand erreicht hatte; die plötzliche Umkehrung des Stromes bewirkte sogleich ein Steigen der Flüssigkeit. An einem zugleich eingeschalteten Galvanometer wurde bestätigt, dass die grösste Erwärmung mit der kleineren Ablenkung der Nadel, und die kleinere Erwärmung mit der grösseren Ablenkung eintrat. Bei der leydener Batterie ist es unzweifelhaft, dass die Aenderung der Erwärmung durch Aenderung der Entladungsart, dass die Verstärkung der Erwärmung durch Verwandlung der langsamen glimmenden Entladung in die viel schneller vollendete discontinuirliche Entladung bewirkt wird. Nimmt man eine gleiche Aenderung der Entladungsart des Oeffnungsstromes am Inductionsapparate an, so ist damit der Grund der veränderten Wirkung desselben, und der des Ueberganges des Schliessungsstromes gefunden. Die Verwandlung der glimmenden in die discontinuirliche Entladung bewirkt nämlich, wie aus Versuchen an der leydener Batterie bekannt ist, dass ein im Schliessungskreis befindliches Galvanometer weniger abgelenkt, von einer darin befindlichen Substanz eine geringere Menge zersetzt wird, als früher. Während die glimmende Entladung die Elektroden unverletzt lässt, reisst die discontinuirliche Entladung Theile der Elektroden fort und wirft sie im glühenden Zustande in den Raum zwischen den Elektroden. Hierdurch muss dieser Raum leitender werden und kann dem Schliessungsstrome gestatten, glimmend überzugehen. Dass dieser Strom nicht gerade eines vollkommenen Leiters zu seinem Uebergange bedarf, zeigt das Durchgehen desselben durch einen langen Streifen mässig feuchten Papiers. Unter diesen Prämissen lassen sich die beobachteten Wirkungen der Inductionsströme ohne Schwierigkeit ableiten. Wenn der Gesammtstrom des Inductionsapparates in den stark verdünnten Luftraum zwischen einer sehr kleinen und einer grossen Fläche geführt wird, und der Oeffnungsstrom die Richtung von der kleinen zur grossen Fläche hat, so geht nur dieser Strom und zwar glimmend über; im Schliessungsbogen wird daher nur geringe Wärme

erregt, ein Galvanometer stark und stetig nach einer bestimmten Richtung abgelenkt, eine zersetzbare Substanz regelrecht zersetzt, so dass ein bestimmter Bestandtheil derselben an einer bestimmten Stelle ausgeschieden wird. Wendet man den Strom, so dass der Oeffnungsstrom in der dünnen Luft von der grossen zur kleinen Fläche geht, so geht dieser Strom zum Theil discontinuirlich über, daher wird im Schliessungsbogen eine grössere Wärme erregt, das Galvanometer weniger abgelenkt, von der zersetzbaren Substanz eine geringere Menge zersetzt. Diese Wirkungen werden dadurch geändert, dass durch den leitend gewordenen Luftraum auch der Schliessungsstrom und zwar glimmend übergeht, dessen Wirkung auf die Erwärmung gering, auf die magnetische Ablenkung und die Zersetzung stark, und, der Richtung nach, der Wirkung des Oeffnungsstromes entgegengesetzt ist. Die Ablenkung der Nadel kann daher noch stärker vermindert, ganz aufgehoben oder nach der entgegengesetzten Seite gebracht, die Ausscheidung des bestimmten Stoffes an der früheren Stelle verhindert und dafür an der entgegengesetzten Stelle bewirkt werden. Oder es können auch die Wirkungen beider Ströme merklich bleiben, es kann der bestimmte Stoff an beiden Stellen ausgeschieden, die Nadel bald nach der einen, bald nach der andern Seite abgelenkt werden. Diese Veränderlichkeit des Erfolges findet in der That nicht nur bei verschiedenen Versuchen, sondern häufig bei demselben Versuche statt, und ist bei dem veränderlichen Nacheinanderwirken von zwei entgegengesetzten Strömen nicht auffallend. Bei der ersten Richtung der Inductionsströme hingegen ist der Erfolg, von nur Einem Strome bedingt, wesentlich stets derselbe.

Es möge hier noch eine fernliegende, räthselhafte Thatsache in Erinnerung gebracht werden, die vielleicht durch den oben nachgewiesenen, durch den Oeffnungsstrom bedingten, Uebergang des Schliessungsstromes Licht gewinnt. Wenn man den Strom einer mächtigen voltaischen Batterie in freier Luft zwischen zwei Dräthen leuchtend übergehen lässt, so wird der Drath, welcher die *positive* Elektrode bil-

det, heisser als der andere und glüht und schmilzt zuerst. Lässt man hingegen den Strom eines Inductionsapparates in freier Luft zwischen zwei gleichen Drathspitzen mit Funken übergehen, so kommt nur diejenige Drathspitze ins Glühen und Schmelzen, welche die *negative* Elektrode des Oeffnungsstromes bildet, und, wie ich vor längerer Zeit gezeigt habe, an der Umhüllung mit blauem Glimmlichte leicht zu erkennen ist. Dieser Widerspruch ist bisher nicht gelöst worden. Könnte es nicht sein, dass der Oeffnungsstrom, der hier sichtlich zum Theil glimmend übergeht, geringen Antheil an der Erwärmung hätte, dass er aber den Luftraum leitend und den Uebergang des Schliessungsstromes möglich machte, der wesentlich bei dem Erglühen der Drathspitze wirkte? — Dann wäre es die *positive* Elektrode des Schliessungsstromes, welche die stärkste Erwärmung zeigte, und zwischen der Wirkung des voltaischen und des Inductionsstromes fände keine Verschiedenheit statt. Es wäre dies eine sehr einfache, erwünschte Lösung des Räthsels.

Die elektrische Funkenentladung in Flüssigkeiten.*

In der Abhandlung über den Einfluss der Leitung eines elektrischen Stromes auf die Art seiner Entladung habe ich angeführt, dass bei der Entladung einer leydener Batterie durch einen metallischen Schliessungsbogen, der durch eine Wasserschicht unterbrochen ist, zwei sichtbar verschiedene Entladungsarten in der Flüssigkeit statt finden können. Bei der discontinuirlichen Entladung wurde in der Flüssigkeit ein blendender, von einem starken Schalle begleiteter Funke sichtbar, bei der continuirlichen wurde weder Licht noch Geräusch bemerkt. Ob die eine oder die andere Entladungsart eintrat, hing, bei constanter Ladung der Batterie und Entfernung der Elektroden, von dem Gehalte des Wassers

* Monatsbericht d. Akad. 1857. 361.

an Kochsalz, und von der Beschaffenheit der Endflächen der Elektroden ab; die Bekleidung dieser Endflächen mit der zartesten Oelhaut reichte hin, statt der continuirlichen die Funken-Entladung eintreten zu lassen. Neben dem, unmittelbar in die Sinne fallenden Unterschiede beider Entladungsarten, war ihre Verschiedenheit mittelbar, aber nicht weniger merklich in der Wirkung, welche die Entladungen auf den metallischen Theil der Schliessung äusserten. Die Erwärmung dieses Theiles war bei der Funkenentladung beträchtlich grösser als bei der continuirlichen, ein Erfolg, der mit der Vorstellung vollkommen übereinstimmte, die ich von dem Mechanismus der discontinuirlichen Entladung gegeben hatte. Weniger deutlich war die Ursache des Einflusses, den der Zusatz von Kochsalz zum Wasser auf die Funkenentladung äusserte. Während ein solcher Zusatz, wie schon früher bekannt war, die Wirkung der continuirlichen Entladung steigerte, war in den wenigen Versuchen, die ich darüber angestellt hatte, eine bedeutende Schwächung merklich, die dasselbe Mittel in der Wirkung der Funken-Entladung hervorbrachte. Ich musste es unentschieden lassen, ob diese Schwächung allein davon herrührte, dass in Salzwasser ein Theil der angesammelten Elektricität in Funken, ein anderer Theil continuirlich überging, — oder ob bei veränderter Beschaffenheit der Flüssigkeit die Funken-Entladung selbst verändert worden war[1]). Die Entscheidung dieser Alternative wünsche ich durch die vorliegende Untersuchung herbeigeführt zu haben.

Funken-Entladung in Salzwasser.

In den früheren Versuchen war, ohne Anwendung des Oels, die Funkenentladung nur in reinem Wasser und in solchem hervorgebracht worden, das in 100 Theilen 0,041 Theil getrockneten Kochsalzes enthielt. Die Elektroden bestanden aus zwei horizontalen, 10 Linien langen, 1 Linie dicken Platindräthen, die an vertikalen gefirnissten Kupfer-

1) Oben S. 121.

klemmen befestigt und mit ihren ebenen Endflächen ½ Linie von einander entfernt, in das Wasser tauchten. Ich vermuthete, dass die nicht unbedeutende Oberfläche der Elektroden, die mit der Flüssigkeit in Berührung kam, eine continuirliche Entladung begünstigte, und damit die Funken-Entladung in den stärkeren Salzlösungen hinderte. Die Elektroden-Klemmen wurden deshalb in Hüllen aus Guttapercha gesteckt, und die horizontalen Dräthe durch die Hüllen geführt, so dass von jeder Elektrode nur ein etwa 3 Linien langes Stück Platindrath mit der Flüssigkeit in Berührung kam. Die folgende Beobachtungsreihe wurde mit der früher gebrauchten Batterieladung ausgeführt, mit der in 3 Flaschen angehäuften Elektricitätsmenge 14, zu deren Messung die Kugeln der Maassflasche ½ Linie von einander entfernt waren. Die angegebenen Erwärmungen des im Schliessungsbogen befindlichen Thermometers sind zumeist Mittel von zwei nahe übereinstimmenden Beobachtungen, seltener von drei Beobachtungen. Vor jeder Beobachtung wurden die Elektroden aus der Flüssigkeit gehoben, getrocknet und mit Sandpapier gerieben. Die discontinuirlichen Entladungen, die mit Funken und Schall in der Flüssigkeit statt fanden, sind in der Tafel durch ein Sternchen bezeichnet. Die Leitungsflüssigkeit wurde aus destillirtem Wasser und getrocknetem Chlornatrium zusammengesetzt; die erste Zeile gibt an, wieviel Theile des Salzes in 100 Theilen Flüssigkeit enthalten waren.

I.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch	0	0,041	0,083	0,124	0,167	0,332	1,31
Erwärmung der Schliessung	58,5*	16,9*	9,0*	5,7*	3,8	6,5	15,7

Die Beschränkung der Elektrodenfläche hatte sich wirksam gezeigt. Die Funkenentladung, die früher schon in der Lösung mit 0,083 Procent Kochsalz ausgeblieben war, hatte hier noch bei dieser und der folgenden stärkeren Lösung statt gefunden. Sonst war der Gang der Erwärmungen der

früher beobachtete: mit steigender Menge des gelösten Salzes eine schnelle Abnahme der Erwärmung bei den Funkenentladungen bis zum Eintritte der continuirlichen Entladung, und bei dieser eine langsame Zunahme.

Die krummen Flächen der Platindräthe wurden mit Siegellackfirniss bekleidet und stark getrocknet, so dass nur die ebenen, hier $^{17}/_{24}$ Linie von einander entfernten, Endflächen der Dräthe metallisch blieben. Damit wurde die folgende Beobachtungsreihe erhalten.

II.

Salzgehalt procentisch		0,041	0,083	0,125	0,208	0,314
Erwärmung	66,8*	32,8*	13,4*	7,9*	3,9	4,6

Salzgehalt	0,415	0,826	1,23·	1,64	2,04	2,44
Erwärmung	6	10,7	15,4	16,9	20,6	23,4

Diese Reihe zeigt eine geringere Abnahme der Erwärmung durch die erste Salzlösung, als die vorige Reihe, von der sie sonst nicht wesentlich verschieden ist. Die Funken-Entladung war in keiner stärkeren Lösung, als dort, vorgekommen. Die Siegellackschicht hatte nicht, wie beabsichtigt war, die Entladung auf die metallischen Endflächen der Elektroden beschränkt, und war durch die Entladung an mehren Stellen abgesprengt worden. Ich habe dies Absprengen selbst an Dräthen bemerkt, die mit einer dünnen Schicht geschmolzenen Siegellacks bekleidet waren.

Die Guttapercha-Hüllen, in welchen sich die Elektroden befanden, wurden nun bis zu den Endflächen der Platindräthe vorgeschoben, und ihr Zurückweichen durch eingeschobene Keile verhindert. Die Elektroden blieben in der Flüssigkeit vollkommen trocken, und nur ihre, $^{7}/_{12}$ Linie von einander entfernten, Endflächen wurden benetzt. Diese Einrichtung entsprach dem Zwecke, und die Funken-Entladung entstand in der stärksten Salzlösung, die gerade zur Hand war. Ich konnte daher zur folgenden Reihe eine geringere Ladung der Batterie benutzen, als bisher, was zur Schonung des Thermometers und des Gefässes wünschenswerth war, in dem sich die Flüssigkeit befand. Es

wurde die Elektricitätsmenge 10 in 3 Flaschen gebraucht. Da von hier an überall die Funken-Entladung statt hatte, so ist sie in den Tafeln nicht mehr besonders bezeichnet worden.

III.

Salzgehalt procentisch		0,166	0,415	0,826	1,23	1,64
Erwärmung d. Schliessung	35,3	30,4	29,1	20,6	15	12,7

Salzgehalt	2,04	2,44	2,83	3,22	4,00	4,95
Erwärmung	9,7	9,3	10,4	11,6	12,6	14,2

Die Erwärmung nahm bei Anwendung von immer stärkeren Lösungen sehr langsam ab, erreichte erst, als sich 2,44 Procent Kochsalz in der Flüssigkeit befanden, ihren kleinsten Werth, und nahm von da an langsam wieder zu. Der Funke in den schwächeren Lösungen war blendend weiss und schallend, in den stärkeren Lösungen gelblich und von dumpferem Schalle.

Die bisherigen Versuche waren in einer Guttapercha-Rinne, 8¼ Zoll lang, 1¾ breit, angestellt worden, die mit 10 Unzen destillirten Wassers gefüllt war. Da von hier an die Elektroden-Hüllen aus Guttapercha nicht mehr benutzt wurden, so konnte eine Rinne aus starkem Glase, im Lichten 3⅙ Zoll lang, 1 Zoll breit, angewendet werden, zu deren Füllung nur 2 bis 2½ Unzen Wasser erforderlich waren. Zur folgenden Versuchsreihe wurden sehr kleine Elektrodenflächen genommen. Kupferdräthe von ⅙ Linie Dicke wurden fest in enge Glasröhren eingeschmelzt, und das Glas abgeschliffen, bis eine Kupferfläche erschien. Die Kupferflächen beider Elektroden waren 7/10 Linie von einander entfernt. Zur Ladung der drei Flaschen wurde die Elektricitätsmenge 12 gebraucht.

IV.

Salzgehalt procentisch		0,103	0,61	0,92	1,52
Erwärmung der Schliessung	56,4	52	47,8	41,2	30,7

Salzgehalt	2,11	2,70	3,85	4,89	6,71	8,48	10,16
Erwärmung	20,2	13,9	12,4	12	12,2	13,4	14,5

Salzgehalt	11,80	13,37	15,62
Erwärmung	16,5	17,8	18,8

Die Entladung in der Flüssigkeit fand überall mit einem glänzenden Funken und starkem Schalle statt. Beide Erscheinungen nahmen mit zunehmender Stärke der Salzlösung zwar ab, aber doch so wenig, dass der Glanz des Funkens selbst bei der letzten Beobachtung dem Auge empfindlich fiel. Obgleich nicht das Ausbleiben der Funken dazu nöthigte, wie früher, so wurden die Elektroden von Zeit zu Zeit aus dem Wasser gehoben und mit Sandpapier gerieben, weil sonst die Erwärmungen zu gering ausfielen.

Die vier mitgetheilten Versuchsreihen unterscheiden sich von einander durch die abnehmende Grösse der mit dem Wasser in Berührung gebrachten Elektrodenfläche, die in der ersten Reihe über 9 Quadratlinien, in der letzten 0,022 Quadratlinie betrug. Die unmittelbare Erscheinung der Entladung bei steigender Menge des zugesetzten Salzes wurde dadurch in der Art geändert, dass in Reihe I und II die leuchtende und schallende Entladung bald durch die unmerkliche continuirliche Entladung ersetzt wurde, in Reihe III und IV hingegen durchweg statt hatte. Die Erwärmung im metallischen Theile des Schliessungsbogens erfuhr im Allgemeinen dieselbe Aenderung in den vier Reihen; sie nahm zuerst ab, und nach Erreichung eines kleinsten Werthes wieder zu. Nur geschah die anfängliche Abnahme und spätere Zunahme desto schneller, je grösser die Elektrodenfläche war, und der kleinste Werth wurde deshalb erst bei einer desto stärkeren Concentration des Salzwassers erreicht, je kleiner die Fläche war. Es trat nämlich das Minimum der Erwärmung ein

in Reihe	I	II	III	IV
mit dem Salzgehalte d. Flüssigkeit	0,167	0,208	2,44	4,89

Diese Bemerkungen führen zur Ursache der Erscheinung. Die discontinuirliche Entladung führt in gleicher Zeit eine grössere Elektricitätsmenge durch den Schliessungsbogen, als die continuirliche, so dass, wenn eine bestimmte Elektricitätsmenge in Funken oder continuirlich durch dieselbe Flüssigkeit entladen wird, die Erwärmung des metallischen Theiles der Schliessung im ersten Falle ungleich grösser ist, als

im zweiten (oben S. 120). In den hier mitgetheilten Versuchen fand aber die Funken-Entladung nur zwischen den nächsten Flächen der Elektroden statt, und der grosse Einfluss, den die (in der ersten Versuchsreihe bis 3 Linien) von dem Funken entfernten Theile der Elektroden auf die Grösse der Erwärmung hatten, lehrt, dass hier zugleich eine continuirliche Entladung im Spiele war. Dass diese, neben der Funken-Entladung, auftreten kann, ist nicht auffallend. Ich habe es wahrscheinlich gemacht [1]), dass der Funke erst einige Zeit später ausbricht, als der Leiter die dazu genügende, oder selbst eine grössere Elektricitätsmenge erhalten hat. Ehe also die erste discontinuirliche Partialentladung statt findet in der Flüssigkeit, können continuirliche Partialentladungen eintreten, die einen Theil der Elektricität von den Elektroden fortführen. Die Menge der fortgeführten Elektricität nimmt zu mit der grösseren Ausdehnung der Elektroden und mit dem grösseren Salzgehalte des Wassers; letzteres, weil dann die continuirlichen Entladungen schneller einander folgen. Die in der Batterie angehäufte constante Elektricitätsmenge nimmt mit den Partialentladungen allmählig ab. Eine discontinuirliche Partialentladung findet so lange statt, als jene Menge noch hinlänglich gross ist, die Elektroden mit soviel Elektricität zu versehen, dass die Endflächen derselben, ungeachtet der durch die continuirliche Entladung fortgeführten Elektricität, die zur Funken-Entladung nöthige Menge besitzen. Durch steigenden Zusatz von Salz zum Wasser muss demnach die Zahl der stattfindenden discontinuirlichen Partialentladungen verringert, und zwar um desto mehr verringert werden, je ausgedehnter die Elektrodenfläche ist, so dass bei hinlänglich grosser Elektrodenfläche bald der Punkt eintritt, an dem die Funken-Entladung gänzlich aufhört. Hiermit ist eine Erklärung der beschriebenen Versuche, und ausserdem des merkwürdigen Umstandes gegeben, dass die natürliche Unreinheit der Elektrodenfläche die Funken-Entladung begün-

1) Poggend. Ann. 99. 8. Siehe unten, elektr. Pausen.

stigt, ein fettiger Ueberzug derselben die ausgebliebene Entladung wiederherstellt. Bei rein metallischer Beschaffenheit der Endflächen der Elektroden findet nicht nur an diesen Flächen, ehe der Funke ausbricht, eine (wegen der daselbst vorhandenen Dichtigkeit) heftige continuirliche Entladung statt, sondern die elektrische Dichtigkeit dieser Flächen wird auch momentan verringert durch die continuirliche Entladung an entfernten Stellen der Elektroden. Bei unreiner Oberfläche der Enden ist an ihnen die continuirliche Entladung schwächer, und die Dichtigkeit an den Enden wird nicht momentan durch den an andern Stellen eintretenden Elektricitätsverlust verringert. Die Endflächen können daher eine längere Zeit die zur Funken-Entladung nöthige elektrische Dichtigkeit behalten. Ferner ist hierdurch die seit lange bekannte Thatsache erklärt, dass bei bestimmter Entfernung der Elektroden in einer Flüssigkeit die Funken-Entladung eine desto stärkere Ladung der Batterie verlangt, je besser die Flüssigkeit die continuirliche Entladung leitet. Weil nämlich die Funken-Entladung erst nach einer continuirlichen Entladung eintritt, so muss die dazu nöthige Elektricitätsmenge desto grösser sein, je mehr davon die continuirliche Entladung fortführt. Ebenso hat die Wirksamkeit der in Glas eingeschmelzten Dräthe (Wollaston's Elektroden) bei der Zersetzung von Flüssigkeiten durch Elektricität darin ihren Grund, dass die continuirliche Entladung an der Oberfläche auf ein Minimum gebracht, und fast die ganze Elektricitätsmenge discontinuirlich entladen wird.

Aus dem gleichen Verlaufe der in den mitgetheilten Reihen durch eine constante Batterieladung hervorgebrachten Erwärmungen lässt sich mit Sicherheit schliessen, dass bei jeder Funken-Entladung die beiden verschiedenen Entladungsarten wirksam gewesen sind. Die angewandte Elektricitätsmenge hat sich dabei in zwei, von dem Salzgehalte der Flüssigkeit abhängige, ungleiche Portionen getheilt, von welchen die eine Portion discontinuirlich, die andere continuirlich entladen worden ist. Da die discontinuirliche Ent-

ladung einer Elektricitätsmenge eine ungleich stärkere Erwärmung zur Folge hat, als die continuirliche, so folgt hieraus mit Nothwendigkeit: das Eintreten eines Minimum der Erwärmung, die Lage dieses Minimum je nach der Grösse der Elektroden, der verschiedene Werth desselben, und die spätere Zunahme der Erwärmung. Bei den sehr kleinen Elektroden der Reihe IV trat indess der kleinste Werth der Erwärmung erst bei starker Concentration der Salzlösung ein und blieb dann eine geraume Zeit constant (von 3,85 bis 6,71 Procent Salz), um später äusserst langsam zu steigen. Da die Steigerung der Erwärmung des Schliessungsbogens durch continuirliche Entladung bei Zusatz von Kochsalz zur entladenden Flüssigkeit, eine Thatsache ist, so vermuthete ich eine die Steigerung hindernde Ursache, die unmittelbare Aenderung der Funken-Entladung bei einem bestimmten Salzgehalte der Flüssigkeit. Diese Vermuthung, durch analoge Fälle in luftförmigen Flüssigkeiten unterstützt, war nicht von der Hand zu weisen, und der Versuch dahin zu lenken. Ich glaube, dies mit Erfolg gethan zu haben. Wenn daher auch der erste Satz der von mir gestellten Alternative durch die vorgetragene Untersuchung entschieden bejaht wird, und wir bei den Funken-Entladungen in Flüssigkeiten zugleich continuirliche Entladungen annehmen müssen, so ist damit der zweite Satz nicht erledigt, wonach die Funken-Entladung selbst, je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit, in verschiedener Weise statt findet. Die in dem folgenden Theile aufgeführten Thatsachen werden zeigen, dass beide Sätze der Alternative begründet sind, und daher nicht, einander ausschliessend, gegenübergestellt werden dürfen.

Funken-Entladung zwischen ungleichen Elektroden in verschiedenen Flüssigkeiten.

Ein $^1/_6$ Linie dicker Kupferdrath, in eine Glasröhre eingeschmelzt, deren massives Ende abgeschliffen war, bildete die eine Elektrode, von welcher, $^5/_6$ Linie entfernt, als andere Elektrode eine $4^5/_6$ Linien dicke Messingkugel, an

dem Ende eines unbedeckten 1 Linie dicken Kupferdrathes, angebracht war. Die Drathelektrode lag der innern Belegung der mit positiver Elektricität geladenen Batterie zunächst, die (wie auch weiterhin, wenn es nicht anders gesagt ist) aus drei Flaschen bestand, und mit der Menge 12 geladen wurde. Von den beobachteten Erwärmungen des Schliessungsbogens, während sich zwischen den Elektroden Wasser mit steigenden Mengen Chlornatrium befand, theile ich nur die folgenden mit, die den Gang der Erwärmungen hinlänglich beurtheilen lassen. Die Erwärmungen sind Mittel aus drei Beobachtungen. Die Fläche der Drathelektrode wurde von Zeit zu Zeit mit Sandpapier abgerieben.

V.

Salzgehalt der Flüssigkeit procentisch		0,083	0,124	0,287	0,667
Erwärmung d. Schliessung	48,3	35,6	33,9	28,3	20,8
Salzgehalt	0,917	1,28	1,62	1,96	2,38
Erwärmung	16,5	13,5	12,6	9	9,7

Bei allen Beobachtungen geschah die Entladung in der Flüssigkeit mit blendendem Funken und starkem Schalle. Man sieht die Erwärmung mit steigendem Salzgehalte der Flüssigkeit langsam abnehmen und erst bei dem Gehalte von 2 Procent Salz ihren kleinsten Werth erreichen. Es fiel mir auf, dass es genügte, eine der beiden Elektrodenflächen klein zu nehmen, um einen Gang der Erwärmungen hervorzubringen, der in Reihe III durch Kleinheit beider Elektroden bedingt wurde.

Ueberraschend wurde mir die Wiederholung dieser Versuche, bei welcher ich die grosse Elektrode (die Kugel an ihrem Drathe) der innern Belegung der Batterie zunächst gestellt hatte. Hier drückte die kleinste Menge Kochsalz die Erwärmung so tief hinab, dass ich die Reihe nicht mehr mit Zusetzung abgewogener Mengen des trockenen Salzes zum Wasser anstellen konnte, und dafür eine Salzlösung hinzusetzen musste. In der folgenden Tafel sind, wie

früher, die Theile des trockenen Kochsalzes angegeben, die in 100 Theilen der Flüssigkeit enthalten waren.

VI.

Salzgehalt der Flüssigkeit		0,0206	0,0415	0,0623
Erwärmung d. Schliessung	38,4	24,6	16,5	11,3

Salzgehalt	0,083	0,103	0,124	0,206	0,287	0,407	0,527
Erwärmung	7,2	2,6	1,2	1,6	2,3	2,8	3

Salzgehalt	0,667	0,917	1,28	1,62	1,96	2,38
Erwärmung	3,7	4,8	5,7	7	7,4	8,3

Alle Entladungen erfolgten in der Flüssigkeit mit hellem schallendem Funken, der bei den stärkeren Lösungen gelblich und weniger blendend erschien, als bei der ersten Stellung der Elektroden. Der Gang der Erwärmungen ist von dem in Reihe V mit denselben Elektroden erhaltenen durchaus verschieden. Obgleich, wie dort, die Funken-Entladung bei allen Beobachtungen erfolgte, so sank hier die Erwärmung durch Zusatz des Salzes zum Wasser so schnell, dass 1 Gewichtstheil Chlornatrium zu 805 Theilen Wasser zugesetzt, die Erwärmung von 38 auf 1 brachte, und zu 4853 Wasser zugesetzt, am Thermometer sehr merklich wurde. Die Batterie war in allen Fällen vollständig, ohne Zurücklassung eines Residuum, entladen worden. Ich versicherte mich sogleich davon, dass die Stellung der Elektroden zu den Belegungen der Batterie nur dadurch diesen grossen Unterschied in der Wirkung des Entladungsstromes hervorbrachte, dass die Richtung dieses Stromes geändert wurde. Ladet man die Batterie successiv mit positiver und negativer Elektricität, so werden beide Reihen der Erwärmungen bei einer und derselben Stellung der Elektroden erhalten. Ich werde weiter unten davon beiläufig einige Beispiele anführen, ferner aber die Stellung der Elektroden dadurch bezeichnen, dass ich angebe, ob die bedeckte (Drath-) Elektrode in der Flüssigkeit die positive oder negative Elektrode bildete. Die Erscheinung wurde, zur Prüfung ihrer Empfindlichkeit, mit einigen andern Flüssigkeiten darge-

stellt. Reines Schwefelsäurehydrat, dessen specifisches Gewicht bei 15° R. 1,84 betrug, wurde in einer Verdünnung zu Wasser gesetzt, in welches die in der vorigen Reihe benutzten Elektroden tauchten. Die Erwärmungen (Mittel aus zwei Beobachtungen) sind für beide Stellungen der Elektroden angegeben. Die erste Spalte bestimmt die Theile des Schwefelsäurehydrats in 100 Theilen der Leitungsflüssigkeit.

VII.

Gehalt der Flüssigkeit an Schwefelsäure procentisch.	Die Drathelektrode positiv	negativ
	Erwärmung.	
	43,6 Lin.	35,2
0,0173	39,2	16,1
0,0346	36,6	4,4
0,0519	32,6	1,8
0,0691	30,5	2,4
0,103	28,1	3,2
0,172	18,6	5,3
0,667	11,5	7,5
1,13	11,6	8,7
1,57	13,9	11,0
1,99	15,2	12,6

Man sieht, dass der Zusatz von 1 Theil Schwefelsäurehydrat zu 5779 Theilen Wasser hinreichte, die Erwärmung im Schliessungsbogen von 35 bis 16 zu erniedrigen, und bei Zusatz zu 1926 Wasser auf ihren kleinsten Werth 1,8 zu bringen, im Falle der Strom von der grossen zur kleinen Elektrode durch die Flüssigkeit ging. Bei entgegengesetzter Richtung des Stromes trat eine ungleich geringere Erniedrigung der Erwärmung ein. Der Funke in der Flüssigkeit war bei allen Beobachtungen weiss und schallend.

Zu Versuchen in Salpetersäure wurden Platinelektroden genommen; ein $^1/_6$ Linie dicker Drath, fest in Glas eingeschmelzt: und ein $^1/_4$ Linie dickes Blech, von dem ein rechteckiges Stück, $8\,^3/_4 \times 5\,^1/_2$ Linien, in die Flüssigkeit tauchte. Die Endfläche des Drathes stand $^7/_{12}$ Linie von dem Bleche

entfernt. Die erste Spalte der Tafel gibt an, wieviel Theile einer Salpetersäure von 1,224 specifischem Gewichte in 100 der Flüssigkeit enthalten waren.

VIII.

Gehalt der Leitungsflüssigkeit an Salpetersäure procentisch.	Die Drathelektrode positiv	Die Drathelektrode negativ
	Erwärmung.	
	45,5	34
0,0173	45,1	26,6
0,0432	41,6	23,1
0,0860	38,8	10,8
0,128		7,2
0,171	34,6	2,8
0,252	33,5	2
0,413	31,6	2,3
0,568	27,5	3
0,787	24,6	4
1,07	22,1	6
1,34	20,2	7,3
1,62	16,8	8
1,90	13,3	9
2,44	13,3	10,7
2,98	13,8	10,8
4,05	16,6	14

Der Funke in der Flüssigkeit war bei allen Beobachtungen weiss und schallend, sein Glanz hatte in den letzten Beobachtungen bedeutend abgenommen. In dieser ausgedehnten Reihe ist die Erscheinung noch deutlicher als früher. Bei positiver Drathelektrode nahm die Erwärmung im Schliessungsbogen sehr langsam ab, erreichte ein Minimum, als die Flüssigkeit 2 Procent Säure enthielt und nahm dann langsam wieder zu. Bei negativer Drathelektrode hingegen war bei schneller Abnahme der Erwärmung das Minimum schon bei $^1/_4$ Procent Säure erreicht, worauf ein langsames Steigen eintrat. Obgleich daher in dem Intervalle von $^1/_4$ bis 2 Procent Säure die Erwärmung im ersten Falle sank, im zweiten stieg, so blieb doch, weil der absolute Werth des Mi-

nimum im ersten Falle viel grösser war als im zweiten, die Erwärmung stets kleiner bei negativer als bei positiver Drath-Elektrode in gleicher Flüssigkeit.

Auf dies Verhalten richtete ich meine Aufmerksamkeit in der letzten Versuchsreihe, bei welcher die Platinelektroden in Kalilauge gestellt waren. Das Kalihydrat war angeblich durch Scheidung mittels Alkohol gewonnen, also nicht ganz rein.

IX.

Kalihydrat in 100 Theilen der Flüssigkeit.	Die Drathelektrode positiv	negativ
	Erwärmung.	
	49,1	39,1
0,0657	47,8	18,3
0,131	47,2	1,7
0,212	45,8	2,4
0,355	42,1	2,9
0,481	37,9	4,5
0,711	36	6
0,786	31,9	6,6
1,22	28,5	8,6
1,64	14,8	10,3
2,03	13,5	11,2
2,40	14,5	12,9
2,75	16,3	14,6
3,21	16,9	15,5
3,41	17,4	16,8
3,82	18,1	17,6

Der Funke, bei allen Beobachtungen weiss und schallend, brachte in einigen der stärksten Lösungen ein Aufschäumen hervor. Die Erwärmungen zeigen wesentlich denselben Verlauf wie in den früheren Reihen. Bei positiver Drathelektrode wurde die kleinste Erwärmung erst in der elften der steigend concentrirten Lösungen erreicht, bei negativer Drathelektrode bereits in der dritten. Die Reihe ist so weit geführt, bis bei beiden Stellungen der Elektroden nahe dieselbe Erwärmung eintrat. Aber ungeachtet des sehr

ungleichen Anfangspunktes, von wo an die Erwärmungen stiegen, ist keine Beobachtung vorgekommen, in welcher die Drathelektrode, wenn negativ, eine grössere Erwärmung geliefert hätte, als wenn positiv.

Von den vier angewandten Arten von Flüssigkeiten war die Schwefelsäure die wirksamste, durch den kleinsten Zusatz zum Wasser die Erwärmung zu erniedrigen. War dabei die kleinere Elektrode negativ, so liess sich ein Zusatz von 0,0001 zu 1 Theil Wasser auch bei einer oberflächlichen Beobachtung nicht verkennen, und ich suchte die Gränze zu finden, bei der das Thermometer noch den Zusatz der Säure mit Sicherheit angab. Hier aber zeigte sich, dass das gewöhnlich benutzte destillirte Wasser für solche Versuche nicht rein genug ist. Destillirtes Wasser aus einer Apotheke, einem chemischen Laboratorium und der Anstalt für künstliche Mineralwässer von Struve und Soltmann erschien nicht als dieselbe Flüssigkeit. Diesem Umstande schreibe ich es auch zu, dass der Unterschied der Erwärmungen nach der Richtung des Entladungsstromes bei den ersten Beobachtungen jeder Reihe nicht kleiner und nicht constant war (er variirt im Verhältnisse 100 zu 75 und 80). Ein Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes fand bei jeder der zahlreichen benutzten Flüssigkeiten statt, nur war er klein, wenn die Flüssigkeit für continuirliche Entladung schlechtleitend, noch kleiner, wenn sie gutleitend war, aber gross bei einer bestimmten dazwischenliegenden Beschaffenheit der Flüssigkeit. Ganz verschwinden sah ich diesen Unterschied nur bei Anwendung des rectificirten Terpentinöls, einer bekanntlich sehr unvollkommen leitenden Flüssigkeit, und überzeugte mich davon, dass er durch Erwärmung einiger der benutzten Flüssigkeiten vergrössert wird. Die gebrauchten Elektroden waren indess zur Anstellung messender Versuche in höherer Temperatur nicht geeignet, so dass ich die Mittheilung solcher Versuche einer späteren Gelegenheit aufsparen muss.

Der Grund der so auffallend verschiedenen Abnahme der Erwärmung, je nachdem eine kleine Fläche positive oder

negative Elektrode ist, wird durch die im vorigen Abschnitte gemachte Erfahrung nicht gegeben. Es ist dort, bei Annahme nur Einer Art von Funken-Entladung, gezeigt worden, dass die verschiedene Wirkung von einer verschiedenen Elektricitätsmenge herrührt, die mit Funken entladen wird. Hatten die Elektroden eine grosse Oberfläche, so wurde von der constanten Elektricitätsmenge der Batterie ein grösserer Theil continuirlich entladen, ein kleinerer Theil mit Funken, die Wirkung der Funken-Entladung nahm mit Zusatz des Salzes zum Wasser schnell ab, und die sichtbare Entladung hörte bald auf. Waren die Elektroden klein, so blieb die Funken-Entladung durchweg und die Abnahme ihrer Wirkung geschah sehr langsam. In diesem Abschnitte ist nun an mehren Beispielen gezeigt worden, dass die Wirkung der Funken-Entladung schnell oder langsam abnimmt, je nachdem die grosse Oberfläche positive oder negative Elektricität in die Flüssigkeit führt. Man könnte an einen, bei den ersten Partialentladungen an der negativen Elektrode elektrolytisch ausgeschiedenen Stoff denken, der die continuirliche Entladung beschränkte. Diese Annahme, schon an sich nicht wahrscheinlich, lässt sich direct widerlegen. Wäre nämlich die Bekleidung der grossen Elektrodenfläche mit einem isolirenden Stoffe die Ursache der langsamen Abnahme der Erwärmung, so müsste, wenn eine solche Bekleidung absichtlich vorgenommen wäre, der Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes fortfallen. Dies ist aber nicht der Fall. In einem Versuche, bei welchem die grosse mit Olivenöl bestrichene Elektrode negativ war, fand ich die Erwärmung 44, und die Erwärmung 1, als jene positiv war. Eine einfache Erklärung der besprochenen Erscheinung würde zu geben sein, wenn wir verschiedene Arten der Funken-Entladung in Flüssigkeiten unterscheiden. In luftförmigen Medien sind drei, dem Ansehen und der Wirkung nach sehr verschiedene Arten der discontinuirlichen Entladung bekannt, und es ist ferner bekannt, dass an derselben Elektrode, je nach der Beschaffenheit des Medium, eine Entladungsart mit der einen Elektricitätsart leichter zu

Stande kommt, als mit der entgegengesetzten (Faraday in exper. research. series XII). So ist, um ein Beispiel anzuführen, an einer grossen Elektrodenfläche das Glimmlicht in freier Luft sehr schwer mit negativer Elektricität zu erhalten, leicht mit positiver, hingegen in verdünnter Luft leicht mit negativer, schwerer mit positiver Elektricität. Auch sind sichtlich verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten nicht ganz unbekannt. Der blendende schmetternde Funke, der eine Flüssigkeit durchbricht, ist verschieden genug von den ruhigen, fast geräuschlosen Lichtpunkten, die zuerst von Troostwyck und Deimann an den Enden in Wasser tauchender Elektroden gesehen wurden [1]), wobei die discontinuirliche Entladung durch das Auftreten gleicher Zersetzungsproducte an beiden Elektroden angezeigt war. Nehmen wir an, dass es verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten gibt, dass diese Arten in verschiedener Zeit ausgeführt werden, und dass, je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit und der Elektroden, die eine oder die andere Art eintritt, so sind die hier vorgeführten Versuche in folgender Weise in allgemeinen Zügen abzuleiten.

Die stärkste, in kürzester Zeit ausgeführte, Funken-Entladung kommt leicht zu Stande, wenn eine Elektrode von kleiner Oberfläche positive Elektricität in eine schlechtleitende Flüssigkeit führt. Wird der Flüssigkeit in steigender Menge ein Stoff hinzugesetzt, der ihr Leitungsvermögen für continuirliche Entladung erhöht, so nimmt die Wirkung der Funken-Entladung darum fortwährend ab, weil vor ihrem Eintritte eine immer grössere Elektricitätsmenge continuirlich entladen wird. Die Abnahme geschieht sehr langsam, weil die continuirliche Entladung an einer kleinen Fläche eintritt, gerade wie es im ersten Abschnitte bei den beiden kleinen Elektroden geschah (Reihe IV). Bei einem gewissen Werthe des Leitungsvermögens der Flüssigkeit geht die starke Funken-Entladung in eine schwächere über; da nun hier die Menge der continuirlich entladenen

1) Annales de chimie 5. 278 (1790).

Elektricität bereits gross ist, so muss ein Minimum der Erwärmung und ein darauf folgendes langsames Steigen derselben eintreten. Ist dagegen die Oberfläche der Elektrode gross, welche positive Elektricität in die Flüssigkeit führt, so kommt die starke Funken-Entladung schwer zu Stande; es tritt für sie eine schwächere ein und diese geht, bei zunehmendem Leitungsvermögen der Flüssigkeit für continuirliche Entladung, in noch schwächere, eine längere Zeit erfordernde, Entladungen über. Die Erwärmung ist daher verschieden, je nachdem, bei ungleichen Elektroden, die kleinere Elektrode positiv oder negativ ist; sie nimmt im zweiten Falle mit der Menge des der Flüssigkeit zugesetzten Stoffes schnell ab und erreicht ein Minimum, das kleiner sein muss, als im ersten Falle, weil es in einer weniger leitenden Flüssigkeit eintritt, in welcher die continuirliche Entladung noch keine grosse Elektricitätsmenge in Anspruch nimmt. Das darauf folgende Steigen der Erwärmung hat denselben Grund, wie im ersten Falle: die Zunahme der continuirlich entladenen Elektricitätsmenge, und findet daher eben so langsam statt. — Dies scheint mir eine naturgemässe Erklärung der verwickelten Erscheinung zu sein, und der folgende Satz, als Schlüssel dazu, merkwürdig. *Es gibt verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten, die den Schliessungsbogen verschieden erwärmen. Die ihn am stärksten erwärmende Entladung findet desto leichter statt, je geringer das Leitungsvermögen der Flüssigkeit für continuirliche Entladung, und je kleiner die Oberfläche der positiven Elektrode ist.*

Verschiedene Wirkung der verschiedenen Funken-Entladungen in Flüssigkeiten.

Verschiedenartige Funken-Entladungen erhält man in jeder der im vorigen Abschnitte gebrauchten Flüssigkeiten, bei Anwendung ungleich grosser Elektroden, durch entgegengesetzte Richtung des Entladungsstromes. Um die Verschiedenheit möglichst gross zu haben, wählt man die eine Elektrodenfläche möglichst klein, und die in den Tafeln bei dem ersten Minimum der Erwärmung angegebene Flüssig-

keit. Die verschiedene Richtung des Entladungsstromes in der Flüssigkeit wird entweder dadurch erhalten, dass die Batterie successiv mit beiden Elektricitätsarten geladen, oder einfacher dadurch, dass sie immer mit derselben Art geladen wird, und man die Klemmen umsetzt, welche die Elektroden mit dem Schliessungsbogen verbinden. Die unmittelbare Erscheinung der Entladung in der Flüssigkeit ist bei verschiedener Richtung des Stromes etwas verschieden, Glanz des Funkens und Stärke des Schalles grösser, wenn der Strom von der kleinen zur grossen Elektrode geht, als im entgegengesetzten Falle. Aber besonders merkwürdig ist die verschiedene Erwärmung, welche dabei im Schliessungsbogen erregt wird. Alle Versuche des vorigen Abschnittes geben dazu Belege, von welchen die auffallendsten hier zur Uebersicht zusammengestellt sind. Die Erwärmung bei positiver kleiner Elektrode ist hierbei in jedem Falle = 100 gesetzt worden.

Leitungsflüssigkeit.		Richtung des Stromes von d. kleinen zur grossen Elektrode	von d. grossen zur kleinen Elektrode
		Erwärmung im Schliessungsbog.	
1 Th. Chlornatrium und	805 Th. Wass.	100	$3\frac{1}{2}$
1 Kalihydrat	762	100	$3\frac{1}{2}$
1 Schwefelsäure 1,84 sp. Gew.	1926	100	$5\frac{1}{2}$
1 Salpetersäure 1,224 sp. Gew.	396	100	6
Luft von 1 Linie Quecksilberdruck		100	168

Das letzte Beispiel, einer früheren Mittheilung entnommen [1]), zeigt, dass bei der Funken-Entladung in sehr verdünnter Luft, gleichfalls ein Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes zwischen ungleichen Elektroden vorhanden ist, dieser Unterschied aber geringer ist, als in tropfbaren Flüssigkeiten und im entgegengesetzten Sinne statt findet. Dennoch beruht er, wie ich damals nach-

1) Oben S. 138.

gewiesen habe, auf demselben Grunde, wie der hier betrachtete Unterschied, nämlich auf der Verwandelung einer Art der discontinuirlichen Entladung in eine andere.

Neben der erwärmenden Wirkung ist die mechanische Wirkung sehr verschieden bei verschiedener Art der Funken-Entladung. Ein Platindrath 7 Linien lang, 0,037 Linie dick, wurde an der Stelle des Thermometers im Schliessungsbogen angebracht, in welchem die Elektroden der Reihe VI in Kochsalzlösung von der eben angegebenen Verdünnung tauchten. Als die in Glas eingeschmelzte Elektrode die negative Elektrode bildete, wurde die Elektricitätsmenge 18 aus drei Flaschen dreimal durch den Schliessungsbogen entladen, ohne dass der Platindrath die mindeste Aenderung erfuhr. Als aber die bedeckte Elektrode zur positiven Elektrode gemacht war, wurde der Drath durch dieselbe Entladung glühend zersprengt und verschwand spurlos. Dieser Versuch wird mit gleichem Erfolge an grösseren Drathlängen angestellt werden können, wenn, bei der dazu nöthigen stärkeren Ladung der Batterie, die Sprengung des Gefässes nicht gefürchtet wird, in der sich die Salzlösung befindet.

Zur Prüfung der magnetischen Wirkung der verschiedenen Funken-Entladungen, liess ich einen Multiplicator anfertigen, dessen Gewinde aus einem $^1/_2$ Linie dicken mit Guttapercha bekleideten Kupferdrathe besteht. Von dem, mit seiner Hülle volle 2 Linien dicken Drathe sind 39 Fuss in drei Lagen in 57 Windungen gelegt. Die einander nächsten Drathwindungen sind daher durch eine Schicht Guttapercha von $1^1/_2$ Linie Dicke von einander getrennt, und ein Ueberspringen der Elektricität von einer Windung zur nächsten ist vollkommen verhindert. Die verbundenen Magnetnadeln sind $2^3/_4$ Zoll lang, $^{13}/_{20}$ Linie dick, ihre Ablenkung wurde in einem Mikroskope beobachtet. Als die Elektroden der Reihe VI in die zuletzt gebrauchte Kochsalzlösung tauchten, wurde die früher angewandte Ladung (Elektricitätsmenge 12 in drei Flaschen) durch den Multiplicator geschickt. Ich erhielt in drei Versuchen, bei wel-

chen die in Glas eingeschmelzte Elektrode negativ war, die Ablenkungen der Magnetnadeln 4°,8 4,2 4,0 in gesetzmässiger Richtung. Aber der Zustand der Nadeln war nicht unverändert geblieben. Zwischen den Beobachtungen musste der Nullpunkt der Theilung um nahe 1 Grad verschoben werden, und die Dauer von vier einfachen Schwingungen der Doppelnadel, die vor den Versuchen 55,2 Sekunden betragen hatte, war nach denselben auf 49,3 Sekunden gesunken. Noch weit ungenügender waren die Versuche, als die bedeckte Elektrode die positive Elektrode in der Flüssigkeit bildete. Nach drei Ablenkungen, von welchen jede nahe 1 Grad betrug und zwischen welchen der Nullpunkt der Theilung um fast 4 Grad verschoben werden musste, fand sich das Nadelsystem gänzlich verändert, da es jetzt zu vier Schwingungen nur 16,5 Sekunden gebrauchte. Da die über der Theilung schwebende Nadel vor- und nachher dem Systeme die Richtung gab, so folgte, dass die zwischen den Drathwindungen schwebende Nadel durch die Entladungen bedeutend geschwächt worden war. Discontinuirliche Entladungen dürfen daher auch dann nicht durch einen Multiplicator geschickt werden, wenn der Uebergang von Elektricität zwischen den Windungen gänzlich vermieden ist. Die Magnetisirung durch solche Entladungen ist zu gross, um das Messinstrument während der Beobachtungen in einem constanten Zustande zu lassen.

Bei der Prüfung der Magnetisirung von Stahlnadeln durch die Entladungen benutzte ich eine Bussole mit einer 2 Zoll langen, auf einer Spitze leicht beweglichen Magnetnadel. Genau winkelrecht gegen die ruhende Nadel war ein Maassstab horizontal befestigt, dessen Verlängerung die Mitte der Nadel traf, und auf welchen die zu prüfende Stahlnadel gelegt wurde, mit ihrem nächsten Ende 20 Linien von dem Mittelpunkt der Bussole entfernt. Nachdem die Ablenkung der Bussolnadel abgelesen war, wurde die Stahlnadel umgekehrt, und die Ablenkung wiederum abgelesen. Das Mittel dieser beiden Ablesungen ist in der Tafel angegeben. Der Magnetisirung wurden vier, aus englischem

Gussstahle gefertigte, Nadeln unterworfen (38 Linien lang, $^7/_{12}$ Linie dick), welche, wenn sie vor dem Versuche in den angegebenen Lagen die Bussolnadel ablenkten, bis zum Weissglühen erhitzt wurden. Geschah dies Ausglühen bei der Lage der Nadeln von Ost nach West, so war es leicht, sie unmagnetisch zu erhalten. In den Schliessungsbogen war hinter dem Thermometer eine $3^1/_4$ Zoll lange Magnetisirungsspirale eingeschaltet, welche, aus Kupferdrath schraubenrecht gewunden, die in einer Glasröhre liegende Stahlnadel aufnahm. Die Nadel wurde hier überall in gesetzmässigem Sinne magnetisirt, und erhielt daher ihren bezeichneten Pol an dem Ende, wo der Entladungsstrom die Spirale verliess. In den acht folgenden Versuchen, bei welchen ich die einzelnen Beobachtungen mittheile, bestanden die in Salzwasser (1 Th. Chlornatrium und 2400 Wasser) tauchenden Elektroden aus einem, bis auf seine Endfläche mit geschmolzenem Siegellack bekleideten, $^5/_6$ Linie dicken Kupferdrathe, und einer 4 Linien dicken Messingkugel, die vom Drathe $^3/_4$ Linie entfernt war. Da hier Ladungen der drei Batterieflaschen zwar mit derselben Menge 12, wie früher, aber verschiedener Elektricitätsart gebraucht wurden, so ist die Lage der Drathelektrode gegen die Belegungen der Batterie angegeben.

Drathelektrode zunächst der innern		der äussern Belegung d. Batterie.	
Erwärmung.	Ablenkung d. Bussole.	Erwärmung.	Ablenkung d. Bussole.
Ladung mit negativer Elektricität.			
2,7 Lin.	56°,7	36,5	21°,5
2,8	49,2	37,6	20,8
3,1	49,0	32,0	25,5
Ladung mit positiver Elektricität.			
33,2	27,2	2,7	54,7
33,5	22,0	2,2	44,9
33,3	24,6	3,0	49,6

Diese Versuche zeigen auf das Deutlichste, dass die Funken-Entladung, welche die kleinere Erwärmung hervorbringt, eine bedeutend stärkere Magnetisirung der Nadeln

verursacht, dass Erwärmung und Magnetisirung unabhängig von der Elektricitätsart sind, mit der die Batterie geladen worden, und dass ihre Grösse allein durch die Richtung des Entladungsstromes, und zwar hier in entgegengesetztem Sinne, bestimmt wird.

Die folgenden vier Versuche sind mit den Elektroden der Reihe VI in Salzwasser angestellt, das 1 Chlornatrium und 805 Wasser enthielt. Die Batterie war mit positiver Elektricität geladen worden.

Die Dratheelektrode zunächst der innern		der äussern Belegung der Batterie.	
Erwärmung.	Ablenkung d. Bussole.	Erwärmung.	Ablenkung d. Bussole.
33,1 Lin.	24°,7	1,2	48°,5
35,7	21,2	1,2	51,5
33	21	1,2	48,1

In allen Versuchen, die ich mit denselben Nadeln angestellt habe, kam keine Ausnahme von der Regel vor, dass die schwächere Funken-Entladung stärker magnetisirend wirkt, als die stärkere. Bei den bekannten Eigenthümlichkeiten der Magnetisirung würde es indess nicht auffallen, wenn bei Nadeln von andern Dimensionen, oder bei anderer Ladung der Batterie, diese Regel ungültig wäre. Es kommt hier nur auf die Verschiedenheit der Magnetisirung, nicht darauf an, in welchem Sinne sie sich äussert.

Die so auffallend verschiedenen Wirkungen, von scheinbar gleichen Entladungen der Batterie hervorgebracht, haben nicht nur in dem Gebiete Interesse, dem sie angehören, sondern verdienen auch in andern Gebieten der Elektricitätslehre Beachtung. Nehmen wir an, es fehlte uns das Mittel, die in einer Batterie angehäufte Elektricitätsmenge zu messen, und wir wollten diese Menge aus den Wirkungen beurtheilen, welche scheinbar gleiche Funken-Entladungen in demselben Schliessungsbogen hervorbringen. Dann würden wir die Mengen positiver und negativer Elektricität, mit welchen die Batterie in den Versuchen dieser Abhandlung geladen war, für sehr ungleich erklären, und damit einen Fehlschluss begehen. Was hier für discontinuirliche

Entladungen bewiesen worden ist, findet sehr wahrscheinlich auch bei vielen, scheinbar continuirlichen Entladungen statt, und ich habe mit Befriedigung durch diese Versuche eine Meinung unterstützt gefunden, die ich vor längerer Zeit ausgesprochen habe. Aus den Wirkungen bewegter Elektricität lässt sich nur dann auf die dabei verbrauchten Elektricitätsmengen schliessen, wenn wir gewiss sind, dass die Art der Entladung bei ihnen dieselbe gewesen ist.

Ueber die Beschaffenheit der Funkenentladung in Flüssigkeiten und die Schichtung des elektrischen Lichtes.*

Zu dem dunkelsten, weil der Untersuchung am schwersten zugänglichen Theile der Elektricitätslehre gehören die mit Lichterscheinung verbundenen Entladungen, die als Funkenentladungen zusammengefasst werden können, welche Bezeichnung man nicht auf flüssige und luftförmige Medien zu beschränken hat. In starren Körpern sind es die Entladungen, welche Glühen, Schmelzen und Zerstäuben hervorbringen, und gerade diese Erscheinungen zeigen am deutlichsten die discontinuirliche, sprungweise fortschreitende Entladungsweise, die in jedem Medium bei der Funkenentladung an die Stelle der gewöhnlichen continuirlichen Entladungsweise getreten ist. Der in Luft und Flüssigkeit mit eigenthümlichem Glanze und Schalle auftretende Funke ist nicht, wie man lange Zeit anzunehmen gewohnt war, das äussere Merkmal einer identischen, stets in derselben Weise ausgeführten Entladung; vielfache Versuche haben mir gezeigt[1]), dass Entladungen mit Funken statt finden können, deren Wirkungen sehr verschieden sind. Am grössten war die Verschiedenheit in tropfbaren Flüssigkeiten. So konnte, bei gleicher Ladung derselben Batterie,

---

* Monatsber. der Akad. der Wiss. 1858. 551.

1) Monatsberichte 1856 u. 1857. Oben: Seite 117 u. 151.

die Entladung durch eine bestimmte Strecke von gesäuertem oder gesalzenem Wasser mit Funken geführt werden, und dennoch in einem Falle eine einfache, in einem andern die dreissigfache Erwärmung im metallischen Theile der Schliessung erzeugen. Die Wirkung auf den Schliessungsbogen war also eben so verschieden, als ob dieselbe Elektricitätsmenge in 30 Flaschen oder in 1 Flasche angehäuft gewesen wäre. Bei der Neuheit und dem Auffälligen dieser Erscheinung habe ich in den früheren Mittheilungen, zur Feststellung der Thatsache, nur die einfachsten Fälle betrachtet: den Uebergang der einen Art der Funkenentladung in die andere durch Aenderung der Leitungsflüssigkeit und durch Wendung des Entladungsstromes. Als Resultat hatte sich ergeben, dass die stärkste Funkenentladung, das heisst die, mit welcher in der metallischen Schliessung die stärkste erwärmende und mechanische Wirkung verbunden war, um so leichter eintrat, je weniger leitend die Flüssigkeit für continuirliche Entladungen und je kleiner die Elektrodenfläche war, welche positive Elektricität in die Flüssigkeit führt. Hiermit ist aber nur ein Theil der Erscheinung aufgedeckt. Da die Ladung der Batterie und die Entfernung der Elektroden in der Flüssigkeit Einfluss auf die Wirkung jeder Art von Entladung haben müssen, so entstand die Frage über den Einfluss dieser beiden Momente auf die Funkenentladung, und diese veranlasste die folgende Untersuchung.

Die Bestimmung der Verschiedenheit von Entladungen kann auf zwiefache Weise geleistet werden. Bei der ersten, indirecten Art der Bestimmung ist die Beobachtung auf Wirkungen im metallischen Theile der Schliessung gerichtet, auf eine Stelle, welche der Stelle fern liegt, wo die Funkenentladung statt findet. Wenn diese Wirkungen nicht den Gesetzen folgen, welche für eine Art der Funkenentladung ermittelt wurden, so ist man berechtigt, auf eine andere Art der Entladung zu schliessen. Die directe Bestimmung der Verschiedenheit von Entladungen wird durch Beobachtung der Stelle selbst geleistet, an welcher die Funkenentladung

statt findet. Insofern diese auf der Wahrnehmung einer Erscheinung von äusserst kurzer Dauer beruht, ist sie unsicher und von geringerer Beweiskraft als die indirecte Bestimmung. So war in meiner vorigen Abhandlung aus der verschiedenen Erwärmung im metallischen Schliessungsbogen, bei verschiedener Richtung des Entladungsstromes in der Flüssigkeit, weit sicherer auf eine verschiedene Entladungsweise zu schliessen, als aus dem etwas verschiedenen Glanze und Schalle des Funkens in der Flüssigkeit. Ich stelle deshalb im Folgenden die indirecte Bestimmung der Funken-Entladungen voran, werde indess auch die directe berücksichtigen, theils weil diese hier grössere Unterschiede gezeigt hat, als früher, theils weil sie erlaubt, eine Vermuthung über die Beschaffenheit der Funkenentladungen zu fassen, über welche die indirecte Bestimmung kein Licht verbreitet. Es hat sich in der unmittelbaren Erscheinung der Funken in Flüssigkeiten eine merkwürdige Aehnlichkeit mit Erscheinungen in festen und luftförmigen Medien gezeigt, die zu dem Schlusse berechtigt, dass dieselbe Art der Entladung in Körpern jedes Aggregatzustandes statt finden kann und darin Erscheinungen zuwege bringt, die nur insofern von einander abweichen, als diese Zustände eine sehr verschiedene Beweglichkeit der Körpertheile gestatten.

§. 1. Verschiedenheit der Funkenentladung in Flüssigkeit nach der elektrischen Dichtigkeit.

Um die Funkenentladung möglichst rein, d. h. frei von continuirlichen Entladungen zu erhalten, muss, wie die frühere Untersuchung gezeigt hat, mindestens eine von den beiden Elektroden in der Flüssigkeit eine nur geringe Ausdehnung besitzen. Ich brauchte zu den folgenden Versuchen Drathelektroden, fest in Glas eingeschmelzte Platindräthe, von welchen nur ein Querschnitt, eine Scheibe von $^1/_6$ Linie Durchmesser, mit der Flüssigkeit in Berührung kam. Zur Flüssigkeit wurde Salzwasser gewählt von der Verdünnung, welche die Verschiedenheit von Funken-

Entladungen am meisten begünstigt, das aus 805 Theilen destillirten Wassers und 1 Theile Kochsalz besteht. Ausser dem Gefässe mit der Flüssigkeit enthielt der Schliessungsbogen ein elektrisches Thermometer, dessen Empfindlichkeit grösser als bei den früheren Versuchen war. Drei Flaschen der Batterie wurden successiv mit verschiedenen Elektricitätsmengen geladen, die durch eine Maassflasche gemessen wurden, deren Schlagweite 1/2 Linie betrug. Als die Entfernung zweier Drathelektroden im Salzwasser 1/2 Linie mass, zeigte das Thermometer:

I.

Bei Ladung d. Batterie mit d. Elektricitätsm.	6	8	10
die Erwärmung	21,5	37,7	61,7.

Die beiden ersten Erwärmungen sind dem Gesetze der Wärmeerregung nach Elektricitätsmenge und Dichtigkeit gemäss, die dritte ist höher als dies Gesetz bestimmt. Dass dies nicht zufällig war, ergab sich sogleich, als die Entfernung der Elektroden in der Flüssigkeit auf 1 Linie gebracht war.

II.

Hier erregten die Elektricitätsmengen	6	8	10
die Erwärmungen	7,7	33,2	54,5.

Die zweite Erwärmung ist 2 1/2 Mal so gross, als sie das Gesetz aus der ersten Erwärmung ableitet, und die dritte Erwärmung ist merklich grösser, als sie aus der zweiten folgen würde. Aus diesen Beobachtungen ist zu schliessen, dass durch Steigerung der Elektricitätsmenge in der Batterie eine Funkenentladung in eine andere, stärkere Entladung übergegangen ist. Durch den Anblick war nur die schwächste Entladung (in II) von den übrigen zu unterscheiden, indem dabei der Funke in der Flüssigkeit gelblich erschien, mit dumpfem Schalle. Bei den übrigen Beobachtungen war er hellweiss und stark schallend. Ich will hier die Beispiele nicht häufen, da solche weiter unten zu finden sind, aber sogleich feststellen, dass dieser Uebergang einer Funkenentladung in eine andere nicht direct durch

die gesteigerte Elektricitätsmenge, sondern allein durch die vergrösserte Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie herbeigeführt wird. Es wurde die constante Elektricitätsmenge 10 gebraucht, aber die Flaschenzahl geändert. Die beiden Drathelektroden standen 0,8 Linie von einander.

III.

Bei der Flaschenzahl	6	4	2
erhielt ich die Erwärmungen	14,2	29	75,6.

Auch bei constanter Elektricitätsmenge nahm also die Erwärmung mit gesteigerter elektrischer Dichtigkeit in grösserem Verhältnisse zu, als nach dem Gesetze geschehen sollte. Blieb hingegen die Dichtigkeit in der Batterie constant, so stiegen die Erwärmungen gesetzmässig im geraden Verhältnisse der Elektricitätsmengen, wie die folgenden Beobachtungen lehren.

IV.

Elektricitätsmenge	5	10	15
Flaschenzahl	2	4	6
Erwärmung	14,5	30,5	43,8.

Hier trat keine Aenderung der Funkenentladung ein. Es folgt hieraus, dass, wenn die Entladung durch eine constante Flüssigkeitsschicht mit Funken geht, die Art der Funkenentladung von der elektrischen Dichtigkeit in der Batterie abhängt. Wo ich in der Folge, der Deutlichkeit wegen, von gesteigerter Elektricitätsmenge spreche, ist zu verstehen, dass nur die dadurch gesteigerte Dichtigkeit auf die Funkenentladung von Einfluss ist. Für jede Entfernung der Elektroden gibt es eine kleinste Dichtigkeit, mit welcher die stärkste Funkenentladung eintritt. Dies schliesst sich der bekannten Erfahrung an bei der Entladung durch Luft unter gewöhnlichem Drucke, nur ist die Erscheinung in Flüssigkeiten vollständiger und belehrender. Liegt nämlich bei der Entladung in Luft die Dichtigkeit unter der für die gegebene Entfernung bestimmten Gränze, so erhält man keine Entladung oder eine nur unvollständige. In der

Flüssigkeit ist die Entladung stets vollständig, aber so lange die Gränze der Dichtigkeit nicht erreicht ist, erhält man statt der stärksten Entladung eine andere, die zuweilen durch unmittelbare Wahrnehmung, stets aber durch ihre Wirkung als eine schwächere erkannt wird.

Hätte sich die Wandelung der schwächeren Funkenentladungen in stärkere durch Steigerung der elektrischen Dichtigkeit mit Sicherheit voraussagen lassen, so ist die folgende Erscheinung um so unerwarteter. Es waren ungleiche Elektroden angewandt, eine Drathelektrode und eine Messingkugel von 4⁵/₁₂ Linien Durchmesser, die 0,8 Linien von einander in Salzwasser standen, das in 100 Th. 0,124 Th. Kochsalz enthielt. So lange die Drathelektrode positive Elektrode blieb, war der Erfolg wie bei den gleichen Drathelektroden, eine Steigerung der schwächeren Funkenentladung in die stärkere durch angemessene Steigerung der elektrischen Dichtigkeit. Als aber die Drathelektrode zur negativen Elektrode gemacht war, fanden sich folgende Erwärmungen bei der Entladung verschiedener Elektricitätsmengen, die in 3 Flaschen angehäuft waren.

V.

El.-Menge	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Erwärmung	6,3	11,6	16,3	21,5 |	6,8	9,6	12	14,7	18,3.

Hier trat die auffallende Erscheinung ein, dass bei fortgesetzter Steigerung der Elektricitätsmenge in derselben Batterie, die im metallischen Theile der Schliessung erregten Erwärmungen zuerst steigen, dann plötzlich von 21,5 bis 6,8 sinken und dann wieder zunehmen. Es wurde fast dieselbe Erwärmung erregt, die Batterie mochte mit der Elektricitätsmenge 10 oder 18, mit der Menge 12 oder 22 geladen sein. Dass so verschiedene Elektricitätsmengen nur bei verschiedener Art der Entladung gleiche Wärme erregen können, ist für sich klar. Es ist hier durch Steigerung der Dichtigkeit die starke Entladung in die schwache verwandelt worden. Wäre die Reihe weiter fortgesetzt worden, so würde unzweifelhaft die schwache Entladung wie-

der in die starke übergegangen sein; ein Versuch, der zur Erhaltung des Thermometers nicht gewagt werden durfte. Das Ansehen des Funkens in der Flüssigkeit ist bei den beiden Gruppen, die in der Tafel durch einen Verticalstrich getrennt sind, merklich verschieden. Während der Funke bis zur Elektricitätsmenge 16 glänzend weiss war, erschien er von der Menge 18 an dunkler und gelb. Es liess sich durch den Anblick mit Sicherheit entscheiden, zu welcher von beiden Gruppen ein Versuch gehörte. Ich habe diese Beobachtungsreihe öfter wiederholt und keine andere Abweichung gefunden, als dass zuweilen die schwache Entladung schon bei einer geringeren Elektricitätsmenge eintrat. Auch hier wird die Erscheinung allein durch die elektrische Dichtigkeit hervorgebracht. Als die Elektricitätsmenge 10 constant blieb und aus einer verschiedenen Anzahl von Flaschen entladen wurde, erhielt ich folgende Erwärmungen.

VI.

Flaschenzahl	6	4	2	1
Erwärmung	5,8	7,9	4	13,6.

Bei successiv gesteigerter Dichtigkeit geht die starke Entladung in die schwache (bei 2 Flaschen) über, und bei 1 Flasche in die starke zurück. Dass eine so abnorme Erscheinung, wie der Uebergang der starken in die schwache Entladung durch Verstärkung der Dichtigkeit in der Batterie, an eng gestellte Bedingungen geknüpft ist, darf nicht auffallen. Ich habe sie weder in destillirtem Wasser hervorbringen können, noch in Wasser, das mehr als 0,163 Proc. Kochsalz enthielt; in Wasser mit 0,124 Proc. Salz trat sie nicht ein, wenn die Elektroden weniger als $^1/_2$ oder mehr als 1 Linie von einander entfernt standen.

Es liegt hier eine ganz specielle Entladungserscheinung vor, wie in Luft die der elektrischen Pausen eine ist, zu welcher gleichfalls die Bedingungen eng gestellt sind, und mit welcher jene eine unverkennbare Aehnlichkeit besitzt. Es ging dort[1]) durch vergrösserte Entfernung eines ab-

1) Monatsberichte 1856. 262. Oben. S. 132.

gestumpften Kegels von einer am Conductor der Elektrisirmaschine befestigten Kugel, wodurch die elektrische Dichtigkeit auf der Kugel gesteigert wurde, die Funkenentladung, welche den ableitenden Drath erwärmte, in eine andere Entladung über, welche keine merkliche Wärme erregte, und auch dort trat die Erscheinung nur ein, wenn die grössere Elektrode, die Kugel, positiv elektrisch war. Die Erscheinung in Flüssigkeiten auf ihren jedenfalls sehr zusammengesetzten Grund zurückzuführen, dürfte sehr schwer sein, bei unserer Unkenntniss des Zustandes der Elektroden, der dem Funken in Flüssigkeit vorangeht. Ich habe sie ausführlich hervorgehoben, weil sie den einfachsten directesten Beweis davon liefert, dass die Entladungen, die ich als die starke und schwache Funkenentladung unterschieden habe, wesentlich verschiedene Entladungsarten sind.

§. 2. Verschiedenheit der Funkenentladung nach der Entfernung der Elektroden.

Der Untersuchung der Funkenentladung musste die der continuirlichen Entladung bei verschiedener Entfernung der Elektroden vorangehen. In einer rechteckigen Glasrinne, die im Lichten 15 Linien hoch und $18\,{}^{5}/_{12}$ Linien breit war, wurden 2 rechteckige Messingplatten ($15^{17}/_{24} \times 13\,{}^{1}/_{4}$ Linien) einander parallel gegenübergestellt; die Flüssigkeit, Wasser mit 0,124 Proc. Kochsalz, stand etwa 1 Linie über dem obern Rande der Platten. Diese Platten waren in den Schliessungsbogen der Batterie eingeschaltet, die aus drei Flaschen bestand, deren Entladung stets ohne Licht und Geräusch in der Flüssigkeit geschah. Ein empfindliches Thermometer mass dabei folgende Erwärmungen im Schliessungsbogen.

VII.

Entfern. d. Platten	½		1		2		3 Zoll.	
Elektricitäts-menge.	Erwärmung							
	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.
10	21,3	20,9	14,1	12,8	7,7	7,2	5,0	5,0
12	30,3	30,1	19,3	18,4	10,5	10,3	7,2	7,2
14	41,1	41	23,8	25,0	14	14	10	9,8

Die Rechnung ist nach dem Ausdrucke $\frac{1,146}{1+8,556 \, . \, l} \cdot \frac{q^2}{s}$ geführt, wo l die Entfernung der Elektroden, q und s Elektricitätsmengen und Flaschenzahl der Batterie bedeuten. Man sieht, dass die Erwärmung des Schliessungsbogens sich nach der für einen ganz metallischen Bogen geltenden Formel berechnen lässt, wenn der Bogen durch eine Flüssigkeit unterbrochen ist, in der die Entladung continuirlich fortschreitet. Aber wohl zu merken ist, dass der Werth der Constanten allein für den Bogen mit der Flüssigkeit und den darein tauchenden Elektroden gilt. Wollte man die Entfernung der Elektroden Null setzen, so würde damit der Einfluss der Elektroden und der Flüssigkeit nicht fortfallen, weil die in der Formel zur Einheit genommene Entladungszeit nicht nur die Zeit enthält, welche die Entladung gebraucht, um durch den metallischen Bogen zu gehen, sondern auch die Zeit des Ueberganges aus den Elektroden in die Flüssigkeit. Diese letzte Zeit ist bei gleichen Stoffen um so grösser, je kleiner die Elektrodenflächen in Bezug auf den Querschnitt der Flüssigkeit sind. Dies zeigt die folgende Beobachtungsreihe, welche in der eben gebrauchten Rinne und Flüssigkeit mit Messingscheiben von $11^{11}/_{12}$ Linien Durchmesser angestellt wurde, die an Dräthen mit isolirender Bekleidung in die Flüssigkeit gehängt waren.

VIII.

Entfern. d. Scheiben	½		1		2		3 Zoll.	
Elektricitätsmenge.	Erwärmung							
	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.
10	19,2	18,7	13,2	12,8	8,2	7,8	6,1	5,8
12	26,7	26,9	18	18,4	11,5	11,3	7,8	8,2
14	36	36,6	24,2	25,1	14,7	15,4	10,8	11,1

Die berechneten Werthe werden durch den Ausdruck $\frac{1,037}{1+1,7 \, . \, l} \cdot \frac{q^2}{s}$ gegeben. Die Constante des Zählers ist hier bedeutend kleiner als im vorigen Ausdrucke, woraus folgt, dass die Zeit, in welcher die Entladung von den Scheiben in die Flüssigkeit ging, grösser war als im vorigen Versuche. Dies wurde nicht allein durch die verschiedene

Grösse, sondern auch durch die verschiedene Form der Elektroden bewirkt. Endlich wurde eine Versuchsreihe mit Messingscheiben angestellt, deren Durchmesser nur $1^1/_8$ Linie betrug. Hier mussten grössere Elektricitätsmengen gebraucht werden, damit die Erwärmungen nicht zu gering ausfielen.

IX.

Entfernung d. Scheiben	½	1	2	3 Zoll.
Elektricitätsmenge.		Beobachtete Erwärmung.		
16	5,3	5	4,3	3,7
20	10,2	9	7,5	6,0
24	16,6	14,8	12	10,1

Diese Beobachtungen folgen bei zunehmender Elektricitätsmenge nicht mehr der Wärmeformel; es lässt sich aus ihnen mit Sicherheit nur schliessen, dass die Zeit des Ueberganges der Entladung von den Elektroden in die Flüssigkeit viel grösser, als in den beiden vorhergehenden Reihen gewesen sei. Hier aber erschienen bei jeder Entladung kleine Funken an den Elektroden, und es wird hiermit ein Schluss bestätigt, den ich aus Versuchen ganz verschiedener Art gezogen habe[1]): dass Elektroden die zu einem Funken nöthige elektrische Dichtigkeit eine geraume Zeit besitzen müssen, ehe der Funke eintreten kann.

Bei vollständiger Funkenentladung erscheint die Abweichung der Beobachtung von der Wärmeformel auch bei den verschiedenen Entfernungen der Elektroden, und es wird dabei zugleich unverkennbar, dass sie in dem Uebergange einer Art der Entladung in eine andere ihren Grund hat. Um die vollständige Funkenentladung zu erhalten, muss man wieder zu den in Glas eingeschmelzten Platin-Drathelektroden übergehen und ihre absolute Entfernung von einander nur klein nehmen. Es wurden zwei Drathelektroden in Salzwasser mit 0,124 Proc. Kochsalz gestellt und ihre Entfernung von ½ bis 2½ Linien geändert. Es wurden drei Flaschen der Batterie gebraucht.

1) Poggendorff's Annal. 99. 8. Unten. El. Pausen.

X.

Entfern. d. Elektroden	½	1	1½	2	2½ Linien.
Elektricitätsmenge.			Erwärmung.		
6	21,5	7,7	0,5	0,7	0,7
8	37,7	33,2	1,8	1,0	1,2
10	61,7	54,5	21,7	2,0	2,5
12			57,2	5,7	3,4

Der Eintritt der schwachen Funkenentladung ist durch ein auffallendes Sinken der Erwärmung zu erkennen; jede Verticalreihe zeigt, dass bei constanter Entfernung der Elektroden durch Verminderung der elektrischen Dichtigkeit der Batterie die starke Funkenentladung in die schwache übergeht, und jede Horizontalreihe, dass bei constanter Dichtigkeit Dasselbe geschieht durch Vergrösserung der Entfernung. Es muss demnach für jede Dichtigkeit eine grösste Entfernung der Elektroden geben, als Bedingung für die starke Funkenentladung, eine Entfernung, die man, wenn die Entladung statt in Flüssigkeit in Luft stattfindet, mit dem Namen Schlagweite zu belegen pflegt. Diese Schlagweite ist im Schliessungsbogen dem Quadrate der elektrischen Dichtigkeit in der Batterie proportional (Elektricitätslehre 2. 264), und es ist zu vermuthen, dass auch die grösste Entfernung der Elektroden in Flüssigkeiten bei dem Eintritte der stärksten Funkenentladung dies Gesetz befolgt. Durch den Versuch lässt sich dasselbe nicht streng beweisen, weil der Uebergang von der schwachen in die stärkste Entladung durch Zwischenstufen von allmählich stärkeren Entladungen geschieht, die eine genaue Bestimmung der Entfernung ausschliessen.

Besonders merkwürdig ist die Versuchsreihe X, wenn man die Aufmerksamkeit auf die Stelle der Flüssigkeit richtet, wo die Funkenentladung statt findet. Ich habe schon öfter angemerkt, dass ein blendender weisser Schein des Funkens ein Kennzeichen der starken Entladung, und dass die schwache Entladung durch matten Schein und gelbliche Färbung des Funkens charakterisirt ist. Bei den kleineren Entfernungen der Elektroden ist dies der einzige Unter-

schied im Ansehen der verschiedenen Funken; geht man aber zu grösseren Entfernungen, so wird es deutlich, dass bei den schwachen Entladungen nicht der ganze Schlagraum mit gleichem Lichte erfüllt, dass die Flüssigkeit in der Nähe beider Elektroden heller ist, als in der Mitte, und bei der Entfernung von 2 und 2½ Linien zeigt es sich unzweifelhaft, dass die Mitte der Flüssigkeit dunkel bleibt, während das Licht an der positiven Elektrode heller ist, als an der negativen. Ich werde in §. 4 auf diese Erscheinung zurückkommen. Besonders lehrreich werden die Versuche über den Einfluss der elektrischen Dichtigkeit und der Entfernung der Elektroden auf die Funkenentladung, wenn sie an ungleichen Elektroden angestellt werden, wo die Wendung des Entladungsstromes die eine Art der Entladung in die andere verwandelt. Es wurden die bei dem Versuch V beschriebenen Drathelektrode und Messingkugel in Wasser mit 0,124 Proc. Kochsalz gebracht und die Erwärmungen bei verschiedener Verbindung der Elektroden mit dem Schliessungsbogen beobachtet, von welchen die Tafel die Mittel von zwei Ablesungen angibt. Es wurden drei Flaschen gebraucht.

XI.

Entfern. d.	*a*		*b*		*c*		*d*		*e*		*f*		*g*	
Elektrod.	0,5		0,8		1		1,2		1,5		2		3 Lin.	
Drath-elektr.	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−
Elektricitätsmenge.	Erwärmung.													
8	29,0	15	24,7	5,3	22,2	2,4	16,7	2,0	13,1	1,8	3	1,5	2,5	2,1
10	48,2	20,7	41	10,8	35	4,0	27,7	3,4	21,2	3,0	5,3	2,6	4,2	3,4
12	73,2	5,2	58,8	3,8	49,3	9,5	39,8	5,0	33,3	3,6	24,7	4,6	7	4,7
14		7,4		6,5		5,6	53,8	5,7	46,6	5,3	30,4	5,3	11,3	5,4
16				8,2		7,7		7,3		7,3	42,8	7,6	15,3	7,4
18				12		11,0				10		9,2	20	10,1
20				16,6		14,8		12,2		13,2		12,3		13,0
24				25		22,5		20		21,3		19,3		18,7

Die Empfindlichkeit des Thermometers verbot bei positiver Drathelektrode die Anwendung stärkerer Ladungen, durch welche grössere Unterschiede zwischen den Erwär-

mungen bei positiver und negativer Drathelektrode erhalten worden wären, wie solche in meiner vorigen Abhandlung zu finden sind. Betrachten wir zuerst die Erwärmungen bei positiver Drathelektrode. In der Columne *a* nehmen die Erwärmungen schneller zu, als die zunehmende Elektricitätsmenge erklärt. Berechnet man nämlich die Erwärmung für die in Einer Flasche angehäufte Elektricitätsmenge 1, so erhält man die steigenden Werthe 1,36 1,44 1,52, ein Zeichen, dass hier mit steigender Dichtigkeit stärkere Funkenentladungen eingetreten sind. In den fünf Columnen *b* bis *f*, von der Entfernung der Elektroden 0,8 bis 2 Linien, nehmen die Erwärmungen gesetzmässig mit der Elektricitätsmenge zu und merklich im umgekehrten Verhältnisse der Entfernungen ab, wie folgende Zusammenstellung zeigt, in der die Rechnung nach dem Ausdrucke $\frac{0{,}99}{l} \cdot \frac{q^2}{s}$ geführt ist.

XII.

Entfernung der Elektrod. . *l*.	0,8		1		1,2		1,5		2 Linien.	
	Erwärmung									
q Elektric.-menge	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.
8	24,7	26,3	22,2	21,1	16,7	17,6	13,1	14,1		
10	41	41,2	35,0	33	27,7	27,5	21,2	22		
12	58,8	59,3	49,3	47,5	39,8	39,6	33,3	31,7	24,7	23,8
14					53,8	53,9	46,6	43,1	30,4	32,3
16									42,8	42,2

Die Zunahme der Erwärmung mit der Elektricitätsmenge lehrt, dass jede Verticalreihe nur Funkenentladungen derselben Art enthält. In jeder Horizontalreihe hingegen lässt die Aenderung der Erwärmung auf verschiedene Arten der Entladung schliessen, wie sich weiter unten zeigen wird. In den beiden ersten Beobachtungen der Columne *f* und in allen Erwärmungen der Columne *g* (XI) ist die schwache Entladung bei positiver Drathelektrode für sich klar.

Die Beobachtungen der Reihe XI bei negativer Drathelektrode zeigen zuerst in den Columnen *a b c* die ano-

male Erscheinung, von der am Schlusse des ersten Paragraphs die Rede gewesen ist, die starke Funkenentladung bei kleiner Elektricitätsmenge und den Uebergang derselben in die schwache durch Steigerung der Ladung. In der ersten Columne befindet sich das auffallendste Beispiel, indem durch Steigerung der Elektricitätsmenge von 10 bis 12 die Erwärmung von 20,7 bis 5,2 abnimmt. Die vergrösserte Entfernung der Elektroden, welche in der Regel die starke Entladung in die schwache verwandelt, hat hier einmal den entgegengesetzten Erfolg. Die Elektricitätsmenge 12 gibt bei den Entfernungen von $\frac{1}{2}$ und $\frac{4}{5}$ Linie die schwachen Funken mit der Erwärmung 5,2 und 3,8; bei der Entfernung von 1 Linie die stärkere Entladung mit der Erwärmung 9,5. Abgesehen von diesen wenigen Ausnahmen finden wir bei negativer Drathelektrode in der Tafel überall die schwache Funkenentladung mit verhältnissmässig geringen Erwärmungen. Was aber als wesentlicher Unterschied von den starken Entladungen besonders auffällt, ist der geringe Einfluss der Entfernung der Elektroden auf die Wirkung dieser Entladungsart. Während die Entfernung vom Ein- bis Sechsfachen zunimmt, sinkt die Erwärmung durch die Elektricitätsmenge 12 von 5,2 auf 4,7, durch die Menge 14 von 7,4 auf 5,4, und bei den übrigen Beobachtungen findet sich eine gleiche geringe Abnahme der Erwärmung durch die Entfernung der Elektroden. Das Ansehen der Funken war in dieser Versuchsreihe ebenso verschieden, wie in den früheren Beispielen, die starke Funkenentladung durch ihren weissen glänzenden Funken kenntlich, die schwache durch den matten gelblichen Funken, der bei den grösseren Entfernungen aus zwei Funken zusammengesetzt erschien, die durch eine dunkle Flüssigkeitsschicht getrennt waren.

§. 3. Locale Wirkung der Funkenentladungen.

Wenn die Art der Entladung nicht wechselt, so ändert sich die Erwärmung, die sie an einer Stelle des Schliessungsbogens erregt, in entgegengesetztem Sinne mit der mechanischen Wirkung, die sie an einer andern Stelle ausübt.

So war, um ein Beispiel anzuführen, die Erwärmung im metallischen Bogen viel geringer, wenn in einer Lücke desselben eine Glimmertafel, als wenn ein Kartenblatt durch die Entladung durchlöchert wurde [1]).

Die Funkenentladungen in Flüssigkeiten sind ihrer Art nach verschieden, und so war vorauszusehn, dass ihre erwärmende und mechanische Wirkung an der Stelle selbst, wo sie stattfinden, gleichen Schritt halten würde mit ihren Wirkungen an einer entfernten Stelle im metallischen Schliessungsbogen. Der folgende Versuch bestätigte Dies, in welchem die mechanische Wirkung in der Flüssigkeit verglichen wurde mit der Erwärmung im Schliessungsbogen. Aus feinem, mit einem isolirenden Firnisse getränktem und stark getrocknetem Papiere wurde eine 1 Zoll lange, $4^1/_2$ Linien breite Röhre gefertigt, in welche die im Versuche XI gebrauchte Messingkugel und die ihr in 0,7 Linie Entfernung gegenüberstehende Drathelektrode gesteckt, und die in Wasser mit 0,124 Proc. Kochsalz getaucht wurde. Als die Elektricitätsmenge 14 aus drei Flaschen zweimal durch diese Elektroden und ein Thermometer entladen wurde, während die Drathelektrode negative Elektrode war, zeigte sich die Erwärmung 2,3 und 2,4, und die Papierröhre blieb durchaus unverletzt. Als hingegen die Drathelektrode zur positiven Elektrode gemacht war, wurde das Thermometer zu 99 erwärmt, und die Röhre in einer Länge von 7 Linien aufgeschlitzt. Dieselben Wirkungen auf die Papierröhre wurden erhalten, als die verschiedenen Funkenentladungen, statt zwischen ungleichen Elektroden durch Wendung des Entladungsstromes, zwischen gleichen Elektroden, durch veränderten Salzgehalt der Leitungsflüssigkeit herbeigeführt wurden. Starke und schwache Funkenentladungen, die nach ihrer Wirkung im metallischen Schliessungsbogen so genannt worden sind, verdienen also dieselbe Bezeichnung in Bezug auf ihre locale in der Flüssigkeit selbst ausgeübte Wirkung.

---

1) Poggend. Ann. 43. 82. Elektricitätslehre 1. 417.

§. 4. Beschaffenheit der Funkenentladungen in Flüssigkeiten.

Aus den mitgetheilten Erfahrungen, die einer grossen Zahl von Versuchen entnommen und als sicher zu bezeichnen sind, lassen sich einige Folgerungen über die Natur der verschiedenen Funkenentladungen ziehen. Ich beginne mit der schwachen Entladung, die am bestimmtesten charakterisirt und bei welcher der Anblick entscheidend ist. Es ist angeführt, dass bei einer Entfernung der Elektroden von 2 Linien die schwache Entladung durch eine dunkle Stelle in der Mitte des Schlagraumes erkennbar ist, eine Wahrnehmung, die dadurch ganz ausser Zweifel gesetzt wird, dass bei grösseren Entfernungen zwei vollkommen getrennte Lichterscheinungen, eine an jeder Elektrode, gesehen werden. Der Funke, er mag dem Auge einfach oder doppelt erscheinen, ist matt und eigenthümlich gefärbt, in Kochsalzlösung gelb, in destillirtem Wasser roth u. s. w. Hieraus folgt, dass die Entladung in der Flüssigkeit nur in der Nähe der Elektroden discontinuirlich ist und in der übrigen Strecke der Flüssigkeit continuirlich fortschreitet: eine Entladungsweise, die nicht allein auf flüssige Körper beschränkt ist. Nach der matten Farbe des Lichtes lässt sich vermuthen, dass eine beträchtliche Verzögerung der Entladung bei dem Uebergange von den Elektroden in die Flüssigkeit stattfindet, und die geringe Abnahme der Erwärmungen mit zunehmender Entfernung der Elektroden bestätigt Dies. Wenn sich die discontinuirliche Entladung im Allgemeinen veranschaulichen lässt durch die Entladung in einem Metallstreifen, der in seiner ganzen Länge an einander sehr nahe liegenden Stellen quer durchschnitten ist, so wird man für die discontinuirliche Entladung der schwachen Funkenentladung den Metallstreifen nur an seinen Enden mit solchen Querschnitten versehen und an den den Elektroden nächsten Schnitten einen festen Isolator eingeschaltet denken, welcher die Entladung bedeutend verzögert. Es wird dann die Länge des Metallstreifens nur geringen Einfluss auf die Zeit der Entladung und damit auf die Erwär-

mung haben, die im übrigen Schliessungsbogen erregt wird. Der Eintritt der schwachen Entladung wird befördert durch ein besseres Leitungsvermögen der Flüssigkeit, weil dies die continuirliche Entladung begünstigt, und durch Verminderung der elektrischen Dichtigkeit der Batterie oder Vergrösserung der Entfernung der Elektroden, weil zu jeder Schlagweite der starken Entladung ein bestimmter Werth der Dichtigkeit gehört, unter den sie nicht sinken darf. Dass bei bestimmter Dichtigkeit und Entfernung der Elektroden der Leitungswerth der Flüssigkeit nicht zu klein sein darf, um die schwache Entladung zu gestatten, zeigte der folgende Versuch. Zwei Drathelektroden, 2 1/6 Zoll von einander entfernt, wurden in ein rechteckiges, 1 1/3 Zoll breites Glasgefäss gebracht, das bis 14 Linien Höhe mit destillirtem Wasser gefüllt war. Aus 3 Flaschen entladen, brachte erst die Elektricitätsmenge 10 die schwache Funkenentladung zuwege und alle geringeren Mengen wurden lichtlos, continuirlich entladen. Als hingegen das Wasser 0,124 Proc. Kochsalz enthielt, trat die Funkenentladung schon bei der Elektricitätsmenge 2 ein. Die Elektroden wurden in derselben Entfernung in eine 2,15 Linien weite Glasröhre gebracht; als diese mit destillirtem Wasser gefüllt war, konnte selbst mit der Elektricitätsmenge 26 keine Funkenentladung erhalten werden, in Salzwasser hingegen trat diese Entladung schon mit der Elektricitätsmenge 4 ein.

Bei dem glänzenden Lichte der starken Funkenentladung kann der Anblick über den Mechanismus derselben Nichts lehren. Es ist indess nach Analogie mit dem Funken in Luft nicht zweifelhaft, dass jene durch die sprungweise fortschreitende Entladung erzeugt wird, die in der ganzen Flüssigkeitsschicht stattfindet, welche die Elektroden trennt. Dass die leitende Beschaffenheit der Flüssigkeit auf die stärkste Funkenentladung nicht die Verzögerung ausübt, wie auf die continuirliche Entladung und die schwache Funkenentladung, wird durch die grosse Erwärmung deutlich, welche sie im Schliessungsbogen erregt, und den früher untersuchten Umstand, dass die Erwärmung desto grösser,

je weniger leitend die Flüssigkeit ist. Dessungeachtet nimmt die Erwärmung mit der Entfernung der Elektroden, also der Länge der flüssigen Schicht überall schnell ab, bei ungleichen Elektroden nahe im umgekehrten Verhältnisse der Entfernung (Versuch XII), was in einem starren Schliessungsbogen nur durch Einschaltung von Leitern mit grossem Verzögerungswerthe erreicht werden kann. Die Annahme, die Flüssigkeit wirke nur als träge Masse, die von der Entladung durchbrochen werden muss, erweist sich als ungenügend, da selbst die Einschaltung starrer isolirender Körper, die von den Funken durchlöchert werden, die Erwärmung im Schliessungsbogen in viel geringerem Verhältnisse schwächt, als dem ihrer Dicke. Auch würde damit die grosse Abnahme der Erwärmung bei Verminderung der elektrischen Dichtigkeit der Batterie, oder durch den geringsten Zusatz eines Salzes oder einer Säure zum Wasser nicht erklärt sein, und zu einer besondern Annahme nöthigen. Es liegt eine andere Vorstellung nahe, welche alle diese Fälle erklärt. Durch Versuche an Metalldräthen, durch welche eine Entladung discontinuirlich geht, ist es bekannt, dass die Intermittenzstellen am Drathe an Zahl zunehmen, wenn man die elektrische Dichtigkeit der Batterie vergrössert oder den Drath verkürzt. Man darf annehmen, dass auch in flüssigen Medien die Zahl der Stellen, an welchen die Entladung plötzlich und leuchtend fortschreitet, veränderlich ist, dass sie abnimmt mit zunehmender Länge der flüssigen Schicht und abnehmender elektrischer Dichtigkeit der Batterie. Dann ist sogleich klar, dass die Flüssigkeit, welche bei vollständiger Funkenentladung keinen Einfluss auf die Entladungsdauer hat, diesen gewinnen muss bei zunehmender Länge ihrer zwischen den Elektroden liegenden Schicht, indem nämlich die Strecken der Flüssigkeit, welche zwischen zwei Intermittenzstellen liegen, länger werden, nicht nur wegen grösserer Länge der Bahn der Entladung, sondern auch wegen der geringeren Zahl ihrer Unterbrechungen. Es folgt ferner, dass von der mehr oder minder leitenden Beschaffenheit der Flüssigkeit die

Zahl der Unterbrechungen abhangen wird, so dass mit dem Zusatze eines Stoffes, der die Flüssigkeit leitender macht, diese Zahl abnehmen muss. Wir wissen, als analogen Fall, dass eine Entladung, die einen Platindrath ganz mit Intermittenzstellen bedeckt, in einem Kupferdrathe gleicher Dimensionen nur an wenigen Stellen intermittirt. Die discontinuirliche Entladung bedingt eine Anhäufung von Elektricität an vielen Stellen der Flüssigkeit; da diese Anhäufung desto grösser sein muss, je weniger leitend die Flüssigkeit ist, so folgt, dass das Leitungsvermögen der Flüssigkeit nicht allein die Zahl der Intermittenzstellen, sondern auch ihre Breite, d. h. die Strecke, bestimmt, welche an jeder Stelle leuchtend durchbrochen wird. Ein vergrössertes Leitungsvermögen vermindert daher Zahl und Breite der Intermittenzstellen, und hiermit ist ein zweiter Grund angegeben der so auffallenden Verminderung der Erwärmung durch die Funkenentladung bei dem Zusatze eines Salzes zum Wasser.

Wir sind nun zu folgender Vorstellung des Vorganges bei den verschiedenen Funkenentladungen gelangt. Für jede bestimmte Flüssigkeit und Entfernung der Elektroden gibt es einen kleinsten Werth der elektrischen Dichtigkeit der Batterie, mit welchem die stärkste Funkenentladung, mit der grössten Zahl von Intermittenzstellen, statt findet. Vermindert man successive die Dichtigkeit, so nimmt die Zahl der Intermittenzstellen ab, und man erhält eine Reihe von schwächeren Funkenentladungen, die durch ihre Wirkungen, nicht durch ihr Ansehen, erkannt werden. Ist endlich die Dichtigkeit so weit vermindert worden, dass keine Anhäufung von Elektricität in der Flüssigkeit selbst, sondern nur in den sie begränzenden Elektroden statt findet, so kommen die Intermittenzstellen in der Flüssigkeit allein in der Nähe der Elektroden vor, und damit ist die schwache Funkenentladung eingetreten, die durch ihre Wirkung, wie durch ihre unmittelbare Erscheinung, wesentlich von den anderen Entladungen geschieden ist. Zur Erklärung der Aenderung der Funkenentladung durch Aenderung der

Entfernung der Elektroden und des Leitungsvermögens der Flüssigkeit dient die Erfahrung, dass jener kleinste Werth der Dichtigkeit für die stärkste Funkenentladung um so grösser ist, je entfernter die Elektroden von einander stehn und je besser die Flüssigkeit leitet. Die Verwandlung der einen Art der Funkenentladung in die andere durch Wendung des Entladungsstromes, zwischen Elektroden von sehr verschiedener Grösse, ist hierdurch nicht erklärt; der Grund dieser merkwürdigen Erscheinung ist eben so dunkel, wie der der verschiedenen Lichterscheinungen beider Elektricitätsarten, und wird es wol bis zur Zeit bleiben, wo der wesentliche Unterschied der positiven und negativen Elektricität unserem Verständnisse näher gerückt sein wird. Die beiden folgenden Paragraphe bezeichnen anhangsweise die unverkennbare Aehnlichkeit bereits bekannter Erscheinungen mit den hier dargelegten, von welcher schon beiläufig einige Beispiele gegeben worden sind.

§. 5. Beschaffenheit der Funkenentladung in festen Körpern.

Entladungen einer Batterie, die eine gewisse Stärke erreichen, üben auf feste Körper Wirkungen aus, die häufig von Lichterscheinungen begleitet sind. Aber auch wo diese Lichterscheinungen fehlen, ist eine eigenthümliche Wirkung zu erkennen, die jene Entladungen den Funkenentladungen anreiht. Am auffallendsten ist Dies bei der Entladung durch dünne Metalldräthe, und als ich das Glühen und Schmelzen derselben untersuchte [1]), wurde ich darauf geführt, eine eigenthümliche Entladungsart, die der stossweise fortschreitenden oder discontinuirlichen Entladung anzunehmen, und suchte nachzuweisen, dass diese identisch sei mit der Entladungsweise, welche bei den elektrischen Lichterscheinungen in Wasser und Luft stattfindet (§. 23). Die seit der Zeit über die letzten Erscheinungen gewonnenen Erfahrungen erlauben, die Analogie der Entladungen in verschiede-

1) Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. 1845.

nen Medien vollständiger durchzuführen, als es damals geschehen konnte.

Zur Funkenentladung ist eine um so grössere Dichtigkeit in der Batterie nöthig, je geringer der Verzögerungswerth des Medium ist, in dem sie statt finden soll. Um mit geringen Dichtigkeiten auszureichen, muss der Verzögerungswerth gross sein; in Medien, deren specifische Verzögerungskraft sehr gross ist, wie in Flüssigkeiten überhaupt und in den unvollkommen leitenden festen Körpern, kann der Querschnitt gross sein, während bei den guten Leitern, den Metallen, der Querschnitt sehr klein sein muss. Ein dünner Drath, in den viel dickern Schliessungsbogen der Batterie eingeschaltet, vertritt also die Stelle der Flüssigkeitsschicht in den voranstehenden Versuchen, und die Befestigungsstellen des Drathes sind als die Elektroden zu betrachten. Bei allmählig gesteigerter Ladung der Batterie tritt bei einer bestimmten Dichtigkeit die schwache Funkenentladung im Drathe ein. Diese ist durch eine geringe Zahl von Intermittenzstellen charakterisirt und völlig lichtlos. Die Intermittenzstellen sind dauernd erkennbar durch die stumpfwinkligen Einbiegungen des Drathes und treten gleichgültig in irgend einer Entfernung von seinen Enden auf. In Flüssigkeiten waren die Intermittenzstellen leuchtend und in unmittelbarer Nähe der Elektroden, eine Verschiedenheit, die erklärlich wird durch den grossen Unterschied des Leitungswerthes der Elektroden und der Flüssigkeit, während der des Drathes und seiner Befestigungen um Vieles kleiner ist. Eben so leicht ist ein anderer Unterschied zu erklären. Bei dem Uebergange von der continuirlichen Entladung zur schwachen Funkenentladung nimmt die ganze Entladungsdauer in Flüssigkeiten ab, in dem Drathe aber zu. In der Flüssigkeit schreitet die Entladung so langsam fort, dass die Verlängerung der Entladungszeit durch das Stocken der Entladung an den Intermittenzstellen überwogen wird durch die Verkürzung der Zeit bei dem plötzlichen Durchbrechen mehrer Flüssigkeitsschichten, in dem Drathe findet das Entgegengesetzte statt. Auf diese ent-

gegengesetzte Wirkung der discontinuirlichen Entladung auf die Entladungszeit habe ich schon früher aufmerksam gemacht[1]).

Mit gesteigerter Dichtigkeit in der Batterie erhält man die starke Funkenentladung im Drathe, die sich durch eine Lichterscheinung, das Glühen, und durch eine grosse Menge von Intermittenzstellen am Drathe kundgibt. Auf die Zahl dieser Intermittenzstellen hat die Ladung der Batterie, die Länge des Drathes, das Leitungsvermögen seiner Materie denselben Einfluss, der in den Versuchen mit der Flüssigkeit bemerkt worden ist. Wird die Funkenentladung zu grösserer Stärke gebracht, so erfolgt das Zerreissen und Zersplittern des Drathes, wie das gewaltsame Umherspritzen der Flüssigkeit. Bei der stärksten Funkenentladung wird der Drath unter glänzender Lichterscheinung und heftigem Knalle in Staub verwandelt, und es würde eine Flüssigkeit vollständig in Dampf aufgelöst werden, wenn man sie, in enge Röhren eingeschlossen, starken Entladungen aussetzte. Der Blitz hat den Versuch im Grossen bereits öfter ausgeführt, indem er den Saft eines Baumes in Dampf verwandelte, der den Baum seiner Rinde beraubte und Stücke absprengte, die sehr trocken und besenartig zerfasert erschienen.

§. 6. Beschaffenheit der Funkenentladung in verdünnter Luft. Schichtung des elektrischen Lichtes.

Wenn Elektricität durch einen Luftraum leuchtend hindurchgeht, so geschieht Dies stets durch eine discontinuirliche Entladung, die ich mit der verglichen habe, durch welche ein dünner Drath verbogen und glühend wird (Elektricitätslehre §. 680). In freier wie verdünnter Luft kann diese Entladung in zwiefacher Weise geschehen. Entweder mit verschiedener Lichterscheinung an jeder der beiden Elektroden und geringer Wärmeerregung im übrigen Schliessungsbogen, welchen Fall ich als glimmende Entladung un-

1) Abhandl. d. Akad. 1845. §. 22. Elektricitätslehre §. 654.

terschied; oder in der Art, dass ein schmaler, beide Elektroden berührender Luftcylinder weissglühend und auseinandergesprengt wird, wie ein Metalldrath, der beide Elektroden verbindet, wobei eine starke Erhitzung im Schliessungsbogen eintritt, eine Entladungsweise, die ich vorzugsweise die discontinuirliche genannt habe [1]). Man erkennt in diesen beiden Entladungen die Aehnlichkeit mit der schwachen und starken Funkenentladung und die Mittel, durch welche die erste in die zweite verwandelt wurde, waren dort wie hier, Verstärkung der elektrischen Dichtigkeit, Näherung der Elektroden und Wendung des Entladungsstromes zwischen ungleichen Elektroden. Das letzte Mittel war nur in dünner Luft (bei nicht mehr als 30 Linien Quecksilberdruck) und zwar in entgegengesetztem Sinne wirksam, wie in Flüssigkeit, indem die starke Entladung eintrat bei der Richtung des Stromes von der grossen zur kleinen Elektrode. Die Aehnlichkeit der Funkenentladungen in festen, flüssigen und luftförmigen Medien lässt sich aber noch in einem andern, bemerkenswerthen Falle nachweisen.

Die stärkste Funkenentladung geht in schwächere über durch verbessertes Leitungsvermögen des Medium. Dass hierbei die Intermittenzstellen an Zahl vermindert und weiter aus einander gerückt werden, wird an Metalldräthen durch den Anblick ihrer Verbiegungen unmittelbar gezeigt, in Flüssigkeiten aus der schnellen Abnahme der Erwärmung im Schliessungsbogen geschlossen. Sollte auch in Flüssigkeit der Anblick die geschwächte Funkenentladung zeigen, so müsste darin eine Reihe einzelner Funken erscheinen. Dass diese Reihe nicht gesehen wird, kann den geringen Strecken zugeschrieben werden, in welchen die Funkenentladung zu Stande kommt, und ihrem Glanze. Eine zufällig entdeckte Entladungserscheinung in luftförmigen Medien gibt diesen präsumirten Anblick wirklich und zwar in vollkommenster Weise, und es mag daher versucht werden,

1) Monatsberichte 1855. 400. Oben: S. 141.

jene aus den über die Funkenentladung gewonnenen Erfahrungen abzuleiten.

Die atmosphärische Luft leitet die continuirliche Entladung sehr unvollkommen, und die stärkste Funkenentladung kommt in ihr bei mässiger Entfernung der Elektroden leicht zu Stande. Wird die Luft stark verdünnt, so können die Elektroden weiter von einander entfernt werden, weil die discontinuirliche Entladung desto leichter eintritt, je dünner die Luft ist[1]). Verbessert man das Leitungsvermögen der dünnen Luft, das für die continuirliche Entladung noch geringer ist, als der Luft unter gewöhnlichem Drucke, durch die successive Zusetzung eines Gases oder Dampfes, so wird die starke Funkenentladung in eine schwächere und zuletzt in die schwache Entladung übergehn. Bei einem gewissen Grade des Leitungsvermögens der mit Gas gemengten Luft wird eine Funkenentladung eintreten, bei welcher das Verhältniss der Länge der Intermittenzstellen zu der Länge der Stellen, welche die Entladung continuirlich durchläuft, dem Auge gestattet, beide Stellen von einander zu unterscheiden, und hiermit wird die Erscheinung sichtbar, die unter der Bezeichnung der Schichtung (*stratification*) des elektrischen Lichtes so bekannt geworden ist. Um den Anblick der Schichtung dauernder zu machen, lässt man gewöhnlich eine grosse Zahl von Entladungen schnell auf einander folgen, muss aber darauf bedacht sein, dass der Entladungsstrom nicht zu stark werde, damit nicht in der Luftsäule eine stärkere Funkenentladung eintrete, als die zur Erkennung der Schichten nöthige. Daher darf man an der Elektrisirmaschine nur sehr kleine Funken anwenden, und bei dem Gebrauche einer leydener Flasche muss ein feuchter Faden in die Schliessung eingeschaltet werden. Am Inductionsapparate verzögert schon die grosse Länge des Inductionsdrathes die Entladung hinreichend, und die Leitung in der Luftsäule lässt es nur zu kleinen Funken an den Elektroden kommen. Die Erschei-

1) Monatsberichte 1856. 256. Oben S. 125.

nung des geschichteten Lichtes schliesst sich hiernach unmittelbar den Funkenentladungen in Flüssigkeiten und Dräthen an, und die Schichtung muss durch denselben Vorgang entstanden gedacht werden, durch welchen zum Beispiel ein Drath glühend, mit winkligen Einbiegungen versehen, in eine Menge kleiner Stücke zerrissen wird. Die Spitzen der Winkel am Drathe entsprechen den leuchtenden, die Schenkel den dunkeln Schichten der Luftsäule. Dass diese Winkel nicht so regelmässig am Drathe vertheilt sind, wie die Schichten in der Luft, der Drath nicht in lauter gleiche Stücke zerrissen wird, kann nicht auffallen, da ein fester Körper niemals die Gleichartigkeit eines Gasgemenges besitzt.

Es lassen sich an der leuchtenden Luftsäule verschiedene Wirkungen beobachten, die theils für sich interessant, theils belehrend für den Mechanismus der Funkenentladung sind, und die ich zum Schlusse erläutern will. Der Zusatz eines Gases oder Dampfes zur starkverdünnten Luft hat den Erfolg, die Luft leitender zu machen; der zur Sichtbarmachung der Schichtung geeignete Grad des Leitungsvermögens kann sich aber immer nur auf einen bestimmten Querschnitt der Luftmasse beziehen, der durch das Gefäss gegeben ist, das die Luft einschliesst. Wird ein Gasgemenge, das bei einem bestimmten Querschnitte des Gefässes die schärfsten Streifen im Lichte gibt, für einen grössern Querschnitt benutzt, so werden die Streifen weniger deutlich erscheinen. Die Erfahrung hat gelehrt, dass die Anhäufung von Elektricität an vielen Stellen der Luftsäule, wie sie die discontinuirliche Entladung bedingt, bedeutend ist, da von der leuchtenden Säule eine sehr merkliche Influenz ausgeübt wird. Daraus folgt, dass durch Anlegung eines Leiters an das Gefäss die Luft angezogen, also während der Zeit der Entladung die Dichtigkeit der Luftsäule an der Seite, wo der Leiter angelegt ist, grösser sein wird als an der entgegengesetzten. Da die Leitung eines Stromes nur bis zu einer gewissen Luftverdünnung möglich ist, so wird der Querschnitt der Luftsäule, durch welchen die Entladung hindurchgeht, kleiner sein müssen als vorher. Die schärfere Ausbildung der

Schichten im Lichte und scheinbare Anziehung derselben durch den dem Gefässe genäherten Leiter hat daher nichts Auffallendes.

In gleicher Weise ist die Wirkung des Magnets auf die leuchtende Luftsäule abzuleiten. Wie ein beweglicher Schliessungsdrath eine bestimmte Stellung zwischen den Polen eines Magnets annimmt, wird Dies auch die so leicht bewegliche Luftsäule thun, so weit das sie einschliessende Gefäss es zulässt. Die Luftsäule wird, im Augenblicke der Entladung, durch die magnetische Wirkung eine andere Form annehmen, als das Gefäss ihr gegeben hatte, ihr Querschnitt wird an den vom Magnete bewegten Stellen kleiner und in Folge davon die Schichtung des Lichtes geändert werden. Um einen einzelnen Fall hervorzuheben, sei das Gefäss aus zwei Röhren von ungleicher Weite zusammengesetzt und das Gasgemenge darin so abgeglichen, dass das geschichtete Licht nur in der engen Röhre erscheint. Durch Anlegung eines Hufeisen-Magnets an die weite Röhre wird die Luft darin, während der Entladung, nach der einen oder andern Seite hingedrängt und bietet dem elektrischen Strome einen kleinern Querschnitt als früher; es wird daher die weite Röhre mit geschichtetem Lichte erfüllt, und zwar wird dies Licht, nach der Lage der Magnetpole, nach der einen oder andern Seite der Röhre abgelenkt erscheinen. Durch Anlegung des Magnets an Stellen, die bereits das scharf geschichtete Licht zeigen, werden die Schichten verschoben und verzerrt. Begreiflicherweise sind diese Erscheinungen sehr mannichfaltig, nach Form des Gefässes, Zersetzbarkeit und Leitungsvermögen des Gasgemenges, Stärke und Lage des Magnets wechselnd, sie reduciren sich aber meistens darauf, dass die starke Funkenentladung an Stellen hervorgerufen wird, wo sie früher nicht statt fand. Es sind indess auch einige Fälle beobachtet worden, wo im Gegensatze dazu, das Licht und seine Schichtung durch Wirkung des Magnets aufgehoben wurde; was so erklärt wird: Die durch den Magnet hervorgebrachte Zusammendrückung der Luftsäule befördert direct die starke Funkenentladung, hemmt

sie aber indirect, indem dadurch das Gasgemenge dichter, also besser leitend wird. Wo das Leitungsvermögen des Gemenges, wie in den gewöhnlichen Fällen, entfernt von der Gränze ist, bei der noch die starke Funkenentladung eintritt, wird die directe Wirkung merklich. Ist hingegen das Leitungsvermögen des Gasgemenges der Gränze nahe, oder ist die Natur des Gases der Art, dass sein Leitungsvermögen mit der Zusammendrückung schnell zunimmt, oder wird ein sehr kräftiger Magnet angewendet, so kann die Verminderung des Querschnittes hinreichen, die starke Funkenentladung in die schwache zu verwandeln.

Aus den vorgetragenen Erfahrungen erhellt, dass die Lage der Intermittenzstellen in der Luftsäule durch äussere Einwirkung bedeutend geändert wird, sie ist aber auch sonst nicht unveränderlich. Lässt man wiederholte Entladungen durch die Luftsäule gehen, so wechselt im Allgemeinen die Lage der leuchtenden Stellen, wodurch bekanntlich, wie an der stroboskopischen Scheibe, der Schein einer Fortschreitung des Lichtes hervorgebracht wird. Hiermit fällt die auch sonst nicht wahrscheinliche Annahme, dass die Luftsäule vor der Entladung in mehr und minder leitende Schichten getheilt ist. Diese Schichten entstehen erst durch die Entladung und zwar, wie ich glaube, in folgender Weise. Es ist bekannt, dass jeder elektrische Funke von einer Luftbewegung begleitet ist, durch welche die Lufttheilchen nach allen Seiten getrieben werden. In der Bahn der Entladung wird die Luftschicht vor und hinter dem Funken mehr Lufttheilchen erhalten, als sie früher hatte, die Schicht wird dichter werden. Dichtere Luft ist aber für continuirliche Entladung leitender als dünne, die Entladung wird deshalb in der dichteren Schicht lichtlos fortschreiten können, und erst wieder überspringen, wenn sie eine dünnere Schicht findet. Hiernach erzeugt jede leuchtende Stelle in der Luftsäule die Bedingung zur nächsten dunkeln Stelle, und es ist nur ein erster Funke nöthig, um das Auftreten aller übrigen zu veranlassen. Diesen ersten Funken versetze ich in die unmittelbare Nähe der positiven

Elektrode, weil durch den Influenzversuch die bedeutende Anhäufung von Elektricität an dieser Stelle bewiesen ist. Daraus folgt zugleich, dass Form und Dicke der positiven Elektrode grossen Einfluss auf die Form der Schichtung haben müssen, den sie wirklich besitzen. Die negative Elektrode ist bei ausgebildeter Schichtung mit glimmendem Lichte bedeckt, und zwischen ihr und der Lichtsäule erstreckt sich der merkwürdige dunkle Raum in grösserer oder geringerer Ausdehnung. Ein Influenzversuch hat gezeigt, dass die Anhäufung von Elektricität im dunkeln Raume nur gering ist[1]), und es liegt nahe, hier eine mechanische Entladung anzunehmen, das heisst eine Fortführung von Elektricität durch die elektrisirten fortgetriebenen Lufttheilchen. In der That ist in freier Luft das Glimmlicht niemals beobachtet worden ohne eine Luftbewegung (Faraday, *exper. resear.* 1535) und sie findet wahrscheinlich auch in verdünnter Luft statt. Doch will ich bemerken, dass ich einmal vergebens versucht habe, diese Luftbewegung an zarten Seidenfäden zu erkennen, die ich in den dunkeln Raum gebracht hatte, möchte indess diesem fehlenden Erfolge kein Gewicht beilegen, da die Masse der Luft (von 1 ½ Linie Quecksilberdruck) gegen die der Seide sehr gering war, und die Fäden ausserdem von der negativen Elektrode angezogen sein konnten. Die Annahme einer mechanischen Entladung in der Nähe der negativen Elektrode erklärt, weshalb die magnetische Einwirkung, obgleich an keiner Stelle der Luftsäule zu verkennen, doch am auffallendsten am dunkeln Raume bemerkt wird. Während an andern Stellen die Funkenentladung durch den Magnet nur verschoben wird, tritt sie dort in einem neu gebildeten Medium auf, indem die bewegten Lufttheile festgehalten und nun erst von der Entladung durchbrochen werden.

Die Schichtung des elektrischen Lichtes hat, als eine schöne Erscheinung, neuerdings viel Aufsehn erregt und für unerklärlich gegolten. Ich glaube, im Vorstehenden

1) Pogg. Ann. 104. 325. Unten: el. Wirkung v. Geissler's Röhren.

gezeigt zu haben, dass die Schichtung um Nichts wunderbarer ist, als die dem Auge weniger gefälligen Funkenerscheinungen in tropfbaren und festen Körpern, und mit diesen Einer Klasse der elektrischen Wirkungen zugehört.

Zweites Kapitel.

Die begleitenden Entladungs-Erscheinungen.

Ueber die elektrischen Pausen.*

(Zu §. 672.)

Die elektrischen Lichterscheinungen: der Funke, der Büschel und das Glimmlicht, gehen leicht in einander über, und es ist schwierig, die Bedingungen festzustellen, unter welchen jede von ihnen statt findet. Ein Versuch, der mir besonders geeignet erscheint, manche hierbei noch offene Frage zu beantworten, ist schon vor langer Zeit angestellt worden, hat aber bisher keine Beachtung gefunden. Er betrifft das Ausbleiben und Wiedererscheinen von Funken bei allmählich zunehmender Entfernung eines abgestumpften Kegels von dem Conductor einer Elektrisirmaschine, eine Erscheinung, die Gross entdeckt, sehr sorgfältig beobachtet, und unter dem Namen der elektrischen Pausen beschrieben hat [1]). Obgleich seitdem eine grosse Menge von Versuchen über das elektrische Licht angestellt worden ist, so ist mir keine absichtliche Wiederholung jenes Versuches bekannt geworden, und nur Eine zufällige, die sich in Nairne's Untersuchung der besten Form der Blitzableiter befindet [2]). Der Versuch zeigt die elektrischen Licht-

---

* Poggendorff's Annalen 99. 1. (1856.)
1) Elektrische Pausen von J. F. Gross.* Leipz. 1776. 8vo. 132 S.
2) Phil. transact. 1778. — abridg. by Hutton etc.* 14. 429.

erscheinungen in bestimmter Folge und ist, wenn der Apparat dazu eingerichtet ist, leicht und sicher anzustellen; ich habe ihn bei der folgenden Einrichtung ohne Mühe erhalten. An den Conductor einer Elektrisirmaschine war ein Messingarm angeschraubt, mit dem durch ein Kugelgelenk ein 8 Zoll langer, 2⅓ Linie dicker, Messingstab verbunden war, der an seinem Ende eine Messingkugel von 1 par. Zoll Durchmesser trägt, und horizontal gestellt wurde (Fig. 2). Auf der Kante eines Tisches war ein Glasstab befestigt mit einer Blechhülse am obern Ende, durch welche das Ende eines 2⅓ Linie dicken Messingstabes jener Kugel bis zur Berührung genähert, und 6 Zoll davon entfernt werden konnte. Die Blechhülse war durch einen Drath, der dem Conductor nicht näher kam, als die Tischkante, mit einer allgemeinen Ableitung verbunden, mit der auch das Reibzeug der Maschine in Verbindung stand. An das Ende des beweglichen Messingstabes wurde ein Messingstück angeschraubt, der Pausenkegel, dessen Durchschnitt in Fig. 3 gegeben ist (*a b* 8½, *b c* 2¼, *c d* 7¼, *d e* 1¼ par. Linie). Der kegelförmige Theil dieses Stückes war anfangs vollständiger, und wurde sehr behutsam so lange gerade abgestumpft, bis die sogleich zu beschreibende Erscheinung erhalten wurde. Diese etwas langwierige Arbeit darf der Beobachter sich nicht ersparen. Bei positiver Ladung des Conductors erhielt ich durch anhaltendes gleichmässiges Drehen der Elektrisirscheibe die folgende Reihe von Funken, bei allmähliger Entfernung des Pausenkegels von der Pausenkugel. Mit *F* ist der periodisch fortdauernde Uebergang von Funken bezeichnet, und mit *f* das Auftreten einzelner Funken in ungleichen Zwischenzeiten. Wo die Bezeichnung fehlt, war kein Funke zu erhalten.

Entfernung der Elektroden. Zoll.

¼	½	¾	1	1¼	1½	1¾	2	2½	3	3½	4	4½
F	*F*							*f*	*F*	*F*	*F*	*F*

Es erschienen also Funken von ½ und von 2½ Zoll Länge, aber keine von dazwischen liegender Länge. Die Pausen-

distanz, wie es Gross nennt, hatte hier eine Ausdehnung von 2 Zoll und behielt sie bei allen Wiederholungen fast unverändert. Bei grösserer Wirksamkeit der Maschine wurden noch einzelne Funken von $^3/_4$ Zoll Länge erhalten, dafür aber keine von $2^1/_2$ Zoll. Betrachtet man aus nicht zu grosser Nähe die Elektroden im Dunkeln, während sie in der kleinsten Pausendistanz stehen, so sieht man an dem Ende des Kegels einen sehr kurzen und schmalen (negativen) Büschel, an der nächsten Stelle der Pausenkugel einen bläulich glimmenden Fleck. Bei allmählicher Entfernung der Elektroden von einander bleibt der Büschel ziemlich unverändert, der glimmende Fleck hingegen nimmt an Ausdehnung bedeutend zu. Nähert man den Elektroden, während sie in der Pausendistanz stehen, die Hand oder einen andern Leiter, so gehen zwischen jenen Funken über, die Pause ist aufgehoben, wie sich Gross ausdrückt. Als in den oben mitgetheilten Versuchen ein kleines Brett etwa 3 Zoll unter den Elektroden befestigt war, konnten Funken von allen bezeichneten Längen erhalten werden; die Erscheinung der Pausen fand also nicht statt.

Als erste Ursache der Pausenerscheinung ist die, durch die Nähe des Kegels hervorgebrachte, Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche der Kugel anzugeben. Es ist bekannt, dass durch die Nähe eines abgeleiteten Körpers die elektrische Anordnung auf einem elektrisirten Körper wesentlich geändert wird, so dass zum Beispiel, theoretisch betrachtet, einem Punkte einer beliebig elektrisirten Kugel durch Näherung einer nicht elektrischen Kugel eine beliebig grosse Dichtigkeit gegeben werden kann. Indem der Pausenkugel ein abgeleiteter Kegel genähert wird, erhält der nächste Punkt der Kugel die grösste elektrische Dichtigkeit, und von da an nimmt die Dichtigkeit auf der Kugelfläche nach allen Seiten in einem bestimmten Verhältnisse stetig ab. Betrachten wir, worauf es hier allein ankommt, eine Kuppe (*calotte*) der Kugel, auf welcher die Dichtigkeit nicht geringer ist, als die zum Ausströmen der Elektricität erforderliche. Die Dichtigkeit auf dem höchsten Punkte und

die Breite dieser Kuppe ist abhängig von der Gestalt und der relativen Grösse des der Kugel nahe stehenden Kegels und von der Entfernung beider. War der Kegel eine dünne scharfe Spitze, so musste die Dichtigkeit auf dem nächsten (9 Linien entfernten) Punkte der Kugel sehr gross, die Breite der Kuppe sehr klein sein, da ich, obgleich der Conductor den grössten Theil seiner Elektricität verlor, kein Licht auf der Kugel bemerken konnte. Stand hingegen der Pausenkegel der Kugel nahe, so war die Dichtigkeit am höchsten Punkte der Kuppe nicht sehr gross im Verhältnisse zur mittleren Dichtigkeit der Kugel, wie eine Messung in der Torsionswage ergab. Die Breite der Kuppe musste aber bedeutend sein, da sie bei Elektrisirung durch die Maschine leuchtend erschien. Während die Dichtigkeit der Kuppe um so kleiner war, je entfernter der Kegel von der Kugel stand, fand ich die grösste Breite der leuchtenden Kuppe (etwa $^1/_2$ Zoll) nicht bei der kleinsten Entfernung der Elektroden (9 Linien), sondern bei einer bedeutend grösseren (etwa 1 $^1/_2$ Zoll). Diese Anordnung der Elektricität auf der Kugel gibt die Erklärung der Pausenerscheinung. Bei dauernder Wirksamkeit der Elektrisirmaschine empfängt die Pausenkugel in einer gewissen Zeit eine bestimmte Elektricitätsmenge und damit die Dichtigkeit, die zu einem vierzölligen Funken hinreicht. Wird, während dieser Zeit, die gelieferte Elektricitätsmenge durch Ausströmen vermindert, so genügt die Dichtigkeit, welche die Kugel erreicht, nur zu Funken von geringerer Länge. Das Ausströmen erfolgt an jedem Punkte der Kugel, an dem die elektrische Dichtigkeit einen bestimmten Werth überschreitet, und ist um so wirksamer, je grösser diese Dichtigkeit ist. Bringt man der Kugel eine scharfe Metallspitze 1 bis 2 Linien nahe, so ist die Ausströmung sehr heftig, und die zurückbleibende Dichtigkeit der Kugel nur zu Funken gleicher Länge genügend. Entfernt man die Spitze weiter von der Kugel, so nimmt zwar die Heftigkeit der Ausströmung ab, aber nicht um so viel, um der Kugel die zu mehr als 2 Linien langen Funken nöthige Dichtigkeit zu lassen. Die Funken blei-

ben aus, und ebenso bei allen grössern Entfernungen. Soll die Spitze so weit entfernt werden, dass die Ausströmung aufhört, so muss die Entfernung viel über 4 Zoll betragen, und dann ist die ungeschwächte Dichtigkeit der Kugel nicht genügend zu einem so langen Funken. Dieser Vorgang findet im Allgemeinen auch bei anderer Gestalt des der Kugel genäherten Körpers statt; man erhält Funken bis zu einer bestimmten Länge, und keine darüber. Nur bei einem ganz bestimmten Verhältnisse der Wirksamkeit der Maschine zu der Grösse einer genäherten Kugel kann es geschehn, dass die Pausenerscheinung zwischen zwei Kugeln zu Stande kommt, wie es in dem eingangs erwähnten Versuche von Nairne der Fall war. Ein solcher Versuch ist nicht mit Sicherheit zu wiederholen. Sicher hingegen, weil in weiter Gränze von der Wirksamkeit der Maschine unabhängig, wird der Versuch bei Anwendung des Pausenkegels. Bei grösster Näherung desselben an die Pausenkugel ist die Vergrösserung der Dichtigkeit und dadurch bewirkte Ausströmung von Elektricität an der Kugel nicht hinreichend, das Erscheinen des Funkens zu verhindern. Es würde, bei der Abnahme dieser Dichtigkeit mit zunehmender Entfernung, der Funke in keiner Entfernung ausbleiben können, wenn nicht das Ausbleiben durch die Menge der ausströmenden Punkte, also durch die Breite der leuchtenden Kuppe der Kugel bewirkt würde. Bei der kleinsten Entfernung, in welcher der Funke ausbleibt (9 Linien), ist diese Breite nicht bedeutend, nimmt aber mit steigender Entfernung so lange zu, bis die Dichtigkeit in der Ausdehnung der Kuppe unter die Gränze gesunken ist, welche die Ausströmung bedingt. Alsdann nimmt die Breite der Kuppe wieder ab. In der Entfernung von 1½ Zoll, wo die leuchtende Kuppe etwa ½ Zoll breit ist, war die Dichtigkeit auf derselben so weit gesunken, dass nicht mehr das ruhige Glimmlicht allein erschien, sondern von dem Rande der Kuppe einzelne Lichtfäden büschelartig ausgesendet wurden. In grösserer Entfernung traten daher die Funken wieder auf und blieben so lange, als der Conductor Funken lieferte. Die Pausen-

erscheinung ist demnach bedingt durch das Verhältniss der grössten Dichtigkeit auf der Kugel und der Abnahme derselben auf der Kugelfläche, und ist abhängig von der Gestalt des Pausenkegels und seinem Grössenverhältnisse zur Pausenkugel. Aendert man die Gestalt des Kegels nur wenig durch grössere Abstumpfung, so erhält man Funken bei allen bezeichneten Entfernungen; macht man ihn nur wenig spitzer, so erhält man Funken bis zu einer gewissen Länge und dann keine mehr.

Ebenso werden keine Pausen erhalten mit grösseren oder kleineren Kugeln am Conductor, als die, für welche der Pausenkegel eingerichtet ist. Am leichtesten überzeugt man sich von der Aenderung der elektrischen Anordnung auf der Pausenkugel, und der dadurch bewirkten Aufhebung der Pause, wenn man bei dem Versuche einen Leiter der Kugel nähert, während an einer Stelle des Conductors eine Kugel in eine passende Entfernung gestellt ist. Unter der grossen Kugel *A* des Conductors (Fig. 2) wurde eine kleine Kugel in 9 Linien Entfernung aufgestellt, und der Pausenkegel 1 Zoll von der Pausenkugel entfernt. Auch bei dem anhaltendsten Drehen der Maschine erschien in keinem von beiden Zwischenräumen ein Funke. Als ich aber der Pausenkugel die Hand von oben her bis 10 Zoll näherte, gingen an der unteren Kugel *A* fortwährend Funken über, die bei Entfernung der Hand wieder ausblieben. Im Dunkeln wurde gesehen, dass die Nähe der Hand die leuchtende Kuppe auf der Pausenkugel ausgelöscht hatte. Es war also hier durch die Nähe eines Leiters die Anordnung auf der Kugel verändert, dadurch das Ausströmen der Elektricität beschränkt, und die dem Conductor verbleibende Elektricitätsmenge vermehrt worden. Dass, wenn die untere Kugel fehlt, die Funken, statt an dieser, zwischen Pausenkugel und Kegel selbst entstehn, hat nichts Auffallendes.

Die Elektricität der Pausenkugel wird nicht nur durch Ausströmen, sondern auch dadurch vermindert, dass der in ihrer Nähe an dem Pausenkegel entstehende Büschel negativ elektrisirte Luft auf sie zutreibt. Dieser Umstand kann

aber nicht das Ausbleiben der Funken veranlassen, wie sich sogleich ergab, als ich den Conductor der Maschine negativ elektrisirte. Obgleich die Maschine negative Elektricität in geringerer Menge lieferte als positive, und obgleich hier der Pausenkegel einen sehr viel längeren Büschel gegen die Kugel ausschickte, als früher, so wurden dennoch Funken von 3/4 bis 2 Zoll Länge leicht erhalten, die bei positiver Elektrisirung ausgeblieben waren. Die Pausenerscheinung war hier nur unvollkommen ausgebildet, und zeigte sich dadurch, dass bei einigen Entfernungen der Elektroden (1, 1 1/4, 1 1/2 Zoll) die Funken zögernd und unregelmässig, mit zischenden Büscheln abwechselnd, übergingen, und durch Näherung eines Leiters an die Pausenkugel in regelmässigen Gang gesetzt wurden. Da es keinem Zweifel unterliegt, dass die Anordnung der negativen Elektricität auf der Kugel ganz dieselbe war, wie früher die der positiven, so würde diese Unvollkommenheit der Pausen sehr auffallend sein, wenn nicht die Thatsache vorläge, dass in freier Luft die negative Elektricität viel schwieriger zum glimmenden Ausströmen zu bringen ist, als die positive. So konnte Faraday an dem abgerundeten Ende eines 0,3 Zoll dicken Metallstabes das Glimmen leicht durch positive, nicht aber durch negative Elektricität hervorbringen (*exper. research.* 1530). Die Unvollkommenheit der Pausen bei Anwendung von negativer Elektricität rührt von dem schwierigen Glimmen dieser Elektricitätsart her und gibt einen Beweis mehr, dass die Pausen durch das Glimmen der Kugel bedingt werden.

Bei der gegebenen Erklärung der elektrischen Pausen habe ich eine Schwierigkeit nicht berührt, die mir von allgemeinerem Interesse zu sein scheint, da sie auch bei andern, häufig angestellten Versuchen vorkommt, aber, so viel ich weiss, noch nicht hervorgehoben worden ist. Ich habe das Ausbleiben der Funken in der Pausendistanz dem Umstande zugeschrieben, dass die dem Kegel nächste Kuppe der Kugel eine grössere Dichtigkeit besitzt, als die zu einem Funken nöthige. Nun aber hat die im Conductor fortwährend

erregte, in die Pausenkugel strömende Elektricität diese Dichtigkeit nicht plötzlich, sondern allmählich erreicht, und es muss ein Zeitpunkt dagewesen sein, in welchem die Kugel gerade die zu einem Funken passende Dichtigkeit besass. Die Frage ist: warum dieser Funke nicht aufgetreten ist, und die fernere Steigerung der Dichtigkeit verhindert hat? Dieselbe Frage kann bei bekannteren Versuchen aufgeworfen werden. Gegen einen genäherten Leiter gibt eine grosse Kugel am Conductor einer Maschine lange Funken, eine kleine Kugel aber Büschel. Wenn bei langsamem Drehen der Maschine an einer Stelle des Conductors Büschel entstehn, so können diese häufig durch schnelleres Drehen in Glimmen verwandelt werden. Eine glatte Kugel, die Funken gibt, liefert Büschel, wenn sie rauh gemacht wird, und so weiter. Bei allen diesen Fällen wird dasselbe Bedenken rege, weshalb eine Erscheinung höherer Dichtigkeit aufgetreten, und eine geringerer Dichtigkeit ausgeblieben, obgleich die Dichtigkeit allmählich gesteigert worden ist. Diese Schwierigkeit nöthigt, wie ich glaube, zu der Annahme, dass zur Entstehung eines Funkens nicht nur eine bestimmte Dichtigkeit erforderlich ist, sondern dass diese Dichtigkeit eine Zeit lang bestehen müsse. Hiernach bricht der Funke erst einige Zeit später aus, als die Elektroden die dazu nöthige Dichtigkeit erlangt haben. Mag diese Zeit noch so klein sein, so ist sie jedenfalls sehr gross in Bezug auf die Zeit, in welcher die Elektricität sich auf guten Leitern anordnet, und dann ist es nicht auffallend, dass an der zu einer höheren Dichtigkeit gelangten Stelle, statt des Funkens, eine andere Entladungsart auftritt. In gleicher Weise wird Zeit nöthig sein, bis der Büschel und das Glimmlicht zu Stande kommt, und es wird allgemein gesagt werden müssen, dass ein Hinderniss zu überwinden ist, ehe die auf der Oberfläche eines Leiters ruhende Elektricität sich auf die nächste Schicht des angränzenden Medium fortpflanzen kann, und dass diese Ueberwindung Zeit erfordert. Diese Annahme schliesst sich gut dem sogenannten Uebergangswiderstande an, der in Betracht gezogen werden muss,

wenn der elektrische Strom aus einem Medium in ein anderes übergeht.

Bei dem Pausenversuche erhält die Pausenkugel bei jeder Entfernung des Kegels mehr Elektricität, als die zu einem Funken nöthige Dichtigkeit auf der Kugel erfordert, aber ein Theil dieser Elektricität geht durch Ausströmung verloren. Bei kleinen Entfernungen der Elektroden ist die ausströmende Stelle von grosser Dichtigkeit, aber nur beschränkter Ausdehnung, und die zu einem Funken nöthige Dichtigkeit ist gering; daher sinkt die Dichtigkeit der Kugel fortwährend nicht tiefer, als das Erscheinen des Funkens verlangt. Bei den grossen Entfernungen des Pausenkegels (von $2\frac{1}{2}$ Zoll an) ist die ausströmende Stelle klein und von geringer Dichtigkeit; es bleibt also auch hier der Kugel die zu einem Funken nöthige Elektricitätsmenge. Steht der Kegel hingegen in der Pausendistanz, so ist die Ausdehnung der ausströmenden Stelle und ihre Dichtigkeit gross, und die Dichtigkeit der Kugel sinkt daher sogleich von ihrem höchsten Werthe bis unter den, welcher zu einem Funken nöthig ist. Man sieht hieraus, dass den Funken bei den Pausenversuchen ein Ausströmen, das mit dem tönenden Büschel endigt, vorangegangen sein muss. Bei einigen Stellungen des Kegels lässt sich dies Ausströmen durch das Auge erkennen, bei andern wird es dem Ohre durch ein eigenthümliches Geräusch merklich, das den Schall des Funkens begleitet. Die sichtlichen Büschel, die mit Funken abwechseln, kommen in der Nähe des Anfangs und des Endes der Pausen vor, da, wo man die längsten kleinen und die kleinsten langen Funken erhält. Hier geschieht es zuweilen, dass man bei dem Beginne des Versuchs Funken erhält, bei der Fortsetzung aber keine. Um dann wieder Funken zu erhalten, muss man den Versuch während einiger Minuten aussetzen, oder besser, den Conductor einige Sekunden lang negativ elektrisiren, und dann den Versuch fortsetzen. Das Ausbleiben der Funken wird hier durch eine Elektrisirung der Luft bewirkt, welche die elektrische Anordnung auf der Pausenkugel verändert, und wird geho-

ben, wenn die Luft durch Aufnahme der entgegengesetzten Elektricitätsart wieder unelektrisch geworden ist.

*Aehnliche Erscheinungen, wie die beschriebenen, lassen sich an den jetzt häufig benutzten Inductionsapparaten hervorbringen. Die bei einer Entfernung der Elektroden ausbleibenden Funken bei einer grössern Entfernung, durch die Gestalt der Elektroden selbst, wiedererscheinen zu lassen, habe ich indess am Inductionsapparate, in einer freilich nur geringen Zahl von Versuchen, nicht vermocht. Sehr leicht hingegen erhielt ich die ausgebliebenen Funken dadurch wieder, dass ein Leiter den Elektroden sehr nahe gebracht wurde. Zwei polirte Metallkugeln von 3 oder 4 Linien Durchmesser bildeten die Elektroden meines Inductionsapparats, wozu die käuflichen Tuchnadeln mit vergoldeten Knöpfen sich gut eignen. Als der Apparat durch ein schon oft benutztes Grove'sches Element erregt war, ging ein continuirlicher Funkenstrom über zwischen den nächsten Punkten der horizontal einander gegenüberliegenden Kugeln, wenn die Entfernung dieser Punkte nicht mehr als 1 ¼ Linie betrug. Bei etwas grösserer Entfernung gingen nur einzelne Funken über und, wenn sie 2 Linien betrug, gar keine. Wurde nun ein dünner Holzspan, ein Streifen Kartenpapier, ein Stück Zündschwamm oder ein andrer Halbleiter von unten mit horizontaler Fläche beiden Kugeln genähert, so erschien der Funkenstrom sogleich wieder. Die Wirkung war am vollkommensten, wenn der Körper in einer beide Kugeln berührenden Ebene lag, also von dem Funkenstrom um den Kugelradius entfernt war. Zum Beweise, dass hier keine directe Vermittelung des Funkenstromes durch den eingeschobenen Körper statt fand, wurde der Span oder der Papierstreifen vertical gehalten und mit einer Kante desselben eine der beiden Kugeln berührt. So lange die Kante einen Punkt der einander zugewandten Kugelschalen berührte, dauerte der Funkenstrom fort.

---

* Poggendorff's Ann. 99. 636. (1856).

Diese Pausenerscheinung lässt sich zwar auch an stumpfen und spitzen Elektroden hervorbringen, aber dann muss der fremde Körper diesen so nahe gebracht werden, dass er von dem Funkenstrome berührt wird. Zwischen zwei zugespitzten Kupferdräthen konnten einzelne Funken von höchstens 5,2 par. Linien erhalten werden, aber Funken von über 6 Linien Länge, wenn vor der einen Spitze und in Berührung mit ihr ein Streifen dünnen Postpapiers vertical gehalten wurde, so dass die Funken durch das Papier gehn mussten. Diese Wirkung des Papiers erschien vor der negativen Elektrode bedeutend stärker, als vor der positiven (nach dem Oeffnungsstrome bezeichnet), was mich veranlasste, den negativen Drath abzuflächen, so dass die Funken zwischen einer negativen Kreisfläche von $^1/_2$ Linie Durchmesser und einer positiven Spitze übergingen. Bei dieser Einrichtung erhielt ich Funken von 6,8 Linien, während sie, wenn die Fläche die positive, die Spitze die negative Elektrode bildete, nur eine Länge von 4,6 Linien erreichten. Ein vor der negativen Elektrode gehaltenes Papier vermehrte die Häufigkeit der übergehenden Funken. Bisher waren beide Enden der Inductionsrolle vollständig isolirt gewesen; die beschriebenen Erscheinungen waren, bei geringeren Entfernungen der Elektroden, nicht minder deutlich, als ein Ende der Rolle vollständig zur Erde abgeleitet wurde.

Diese Versuche finden, wie die an der Elektrisirmaschine, ihre Erklärung in der durch die Nähe eines fremden Körpers veränderten Anordnung der Elektricität auf den Elektroden. Bei Anwendung der spitzen Elektroden wird die elektrische Dichtigkeit an den Seitenflächen verstärkt und die Ausströmung an den Spitzen vermindert, was ein Versuch im Dunkeln bemerken lässt. Bei den Kugelelektroden wird die Dichtigkeit an den Punkten selbst verstärkt, zwischen welchen die Funken übergehn, wie die gebogene Form der Funken zeigt, wenn man mit der Papierkante einen Punkt einer Kugelfläche in der Nähe der Centrallinie berührt.

Das Glimmen.

Ueber die Neeff'sche Lichterscheinung.*
(Zu §. 682.)

Als Dr. Neeff die Funken eines Magneto-Inductionsstromes, die zwischen einer Platinspitze und einer oscillirenden Platte übergingen, unter einem Mikroskope betrachtete, sah er eine merkwürdige Lichterscheinung. Je nachdem der Inductionsstrom, bei dem Oeffnen der den Eisenkern umgebenden Drathrolle, die eine oder andre Richtung hatte, leuchtete entweder die Spitze oder die Platte mit violettem Lichte, während die entgegenstehende Elektrode dunkel blieb. Der aus dieser Erscheinung gezogene Schluss, dass die Elektricität an der negativen Elektrode wärmeloses Licht, an der positiven lichtlose Wärme errege[1]), ist auffallend genug, um eine erneute Untersuchung der Thatsache zu rechtfertigen.

Ich benutzte zu den folgenden Versuchen einen vortrefflichen kleinen Inductionsapparat aus der Werkstatt von Siemens und Halske, an dem die äussere inducirte Drathrolle aus 5680 Windungen eines $^1/_4$ Mm. dicken Kupferdrathes gebildet, nur $2^1/_2$ Zoll lang, $2^1/_4$ Zoll breit ist; die darein geschobene innere Drathrolle (469 Windungen eines 1 Mm. dicken Drathes) ein Eisendrathbündel umgibt, und die oscillirende Zunge, die das voltaische Element öffnet und schliesst, durch einen kleinen Elektromagnet in Bewegung gesetzt wird. Ueber und unter der Zunge befindet sich eine Metallspitze an dem Ende einer Schraube; die beiden Spitzen und die mit ihnen in Berührung kommenden Stellen der Zunge bestehn aus einer wenig angreifbaren Metalllegirung. Wendet man nur die obere Spitze an, so erhält man bei jeder vollständigen Schwingung der Zunge Einen Inductionsstrom (es wird nur der bei Oeffnung der

---

* Poggendorff's Annalen 91. 290. (1854.)

1) Poggendorff's Annalen 66. 414. B. 69. 141.

Kette erregte Strom betrachtet); wird auch die untere Spitze benutzt, wozu ein zweites voltaisches Element nöthig ist, so entstehen bei jeder Schwingung zwei Ströme. Diese Ströme können, durch die Stellung der beiden voltaischen Elemente, in gleicher oder entgegengesetzter Richtung erhalten werden.

Die Neeff'sche Lichterscheinung hat eine unverkennbare Aehnlichkeit mit einer elektrischen Erscheinung, die Faraday unter dem Namen der dunkeln Entladung beschrieben hat[1]), und die neuerdings in Berlin und Paris auch mit den Funken des Magneto-Inductionsstromes dargestellt worden ist. Ich nahm einen niedrigen an beiden Enden durch Metallfassungen geschlossenen Glascylinder, in dem zwei Messingkugeln von 4½ Lin. Durchmesser einander bis ½ Linie genähert waren. Jede Kugel stand durch einen zolllangen Metallstiel mit einer der beiden Fassungen in Verbindung. Die Luft im Cylinder wurde bis 2 Linien Quecksilberdruck verdünnt, und der Cylinder, senkrecht aufgestellt, in den inducirten Drath des Inductions-Apparats eingeschaltet. Als an diesem die eine Contactspitze mit dem Zink, die andre mit dem Kupfer von je einem Daniell-schen Elemente verbunden war, so dass die einander folgenden Inductionsströme entgegengesetzte Richtung hatten, wurden beide Kugeln und ihre Stiele mit einem wallenden hellblauen (lavendelblauen) Lichte bedeckt und die einander zugewandten Kuppen der Kugeln leuchteten mit einem glänzenden Tiefblau (kornblumenblau). Die Umwendung des einen Stromes, durch welche beide Ströme gleichgerichtet wurden, hatte zur Folge, dass nur eine bestimmte Kugel leuchtete, die andre vollkommen dunkel blieb. Belehrender wird der Versuch, wenn man an dem Inductions-Apparate nur die obere Contactspitze gebraucht und in die Hauptschliessung einen Stromwender einschaltet. Man hat es dann in seiner Gewalt, abwechselnd die obere und untere Kugel leuchten zu lassen, während jedesmal die zweite Kugel dun-

1) Experiment. research. al. 1544.

kel bleibt, und überzeugt sich davon, dass die leuchtende Kugel stets die **negative** Elektrode ist, das heisst die Kugel, nach welcher der Oeffnungsstrom im Cylinder übergeht. Noch einfacher lehrte Dies ein Versuch an der Elektrisirmaschine. Der Glascylinder wurde so aufgestellt, dass ¼ Linie lange Funken von dem Conductor der Maschine auf die obere Fassung schlugen, während die untere zur Erde abgeleitet war. Bei positiver Elektrisirung des Conductors leuchtete die untere, bei negativer die obere Kugel im Cylinder. Es sei beiläufig bemerkt, dass, obgleich hier, wie früher, das blaue Licht dauernd die ganze Kugel und ihren Stiel bedeckte, und die entgegenstehende Kugel dunkel blieb, doch die Erscheinung einen weniger gefälligen Anblick gewährte, als bei dem Inductionsapparate, der durch ein Daniell'sches Element mit sehr verdünnter Schwefelsäure erregt worden war. Es rührt Dies davon her, dass die sonst vortreffliche Elektrisirmaschine, bei der Bewegung durch die Hand, die Ströme weniger regelmässig auf einander folgen liess, als der Inductionsapparat, bei welchem die Folge der Ströme durch die oscillirende Zunge regulirt wird.

Zur Hervorbringung der Neeff'schen Lichterscheinung ist die oscillirende Zunge nicht unmittelbar nöthig; ich habe sie an einem sehr einfachen Apparate beobachtet. Auf einem Brette ist ein Metallstück mit darauf gelötheter Platinplatte und darüber eine Schraube mit einer Platinspitze befestigt, so dass die Spitze der Platte beliebig genähert werden kann. Der Apparat wurde zwischen den Enden der inducirten Drathrolle des Inductionsapparats eingeschaltet; ich beobachtete die Platinplatte und Spitze durch ein Mikroskop mit 45maliger Vergrösserung, während ich die Schraube behutsam bewegte. Als die Entfernung der Spitze von der Platte so gross war, dass keine Funken übergingen, blieben beide dunkel; Dasselbe war der Fall, als bei Verringerung der Entfernung der Strom überging und die Funken als hellglänzende gebogene Lichtlinien erschienen. Bei weiterer Näherung von Spitze und Platte wurden die Funkenlinien gerade, folgten immer schneller auf einander und konn-

ten nicht mehr einzeln unterschieden werden; plötzlich verlor der Funkenstrom seinen Glanz, wurde matt silberweiss und zugleich leuchtete, je nach der Richtung des Stromes, an der Spitze oder Platte ein tiefblaues Licht auf. Dieses Licht bedeckte auf der Platte eine grössere Fläche, an dem Schraubenende nur die äusserste Kuppe der abgerundeten Spitze. Nachdem diese spitzer gefeilt war, ging das Licht auch an die Seiten der Spitze hinauf. Eine sekundäre Erscheinung ist das Aufleuchten weisser Pünktchen, die in grosser Menge im blauen Lichte, einzeln auch an der dunkeln Elektrode erschienen und verschwanden. Diese Punkte sind glühende Platintheilchen und erschienen in weit geringerer Menge, als ich Platte und Spitze, statt aus Platin, aus der von Siemens und Halske gebrauchten Platinlegirung verfertigt anwendete. Am auffallendsten zeigte sich die Neeff'sche Lichterscheinung, wenn ich einen feinen Platindrath an der Schraube befestigte und dessen Ende der Platte sehr nahe stellte; alsdann leuchtete die Platte, als negative Elektrode, mit tiefblauem Lichte und der Drath, wenn er negative Elektrode war, wurde eine ansehnliche Strecke hinauf von dem blauen Lichte umflackert. Da diese Strecke über ½ Linie betrug, so bedurfte ich das Mikroskop nicht mehr, und konnte mit unbewaffnetem Auge das blaue Licht deutlich an Spitze oder Platte erkennen.

Die beschriebenen Lichterscheinungen in freier Luft sind dem Ansehn nach identisch mit jenen, welche die Elektricität in einem Glascylinder hervorbringt, in welchem die Luft allmählich verdünnt wird, und es ist einzusehn, dass die beiden Erscheinungen auch dem Wesen nach identisch sind. Der elektrische Funke zerreisst die Luft und schleudert auf seiner Bahn die Lufttheilchen fort. Indem der Funke zwischen einer Platte und dem Ende eines dagegen normal gerichteten Drathes übergeht, entsteht unter der Drathspitze auf der Platte ein luftverdünnter Raum, der durch die Luft an der Oberfläche des Drathes wieder gefüllt wird, so dass, augenblicklich nach dem Funken, auch an dieser Oberfläche die Luft verdünnt sein muss. Bei

sparsamem Uebergange der Funken ist bei jedem Funken die Luftverdünnung aufgehoben, die der vorangehende erzeugt hat und das Ansehn der Funken bleibt ungeändert; ist aber die Folge der Funken sehr schnell, so bleibt die Luft verdünnt, in welcher die Elektricität an der negativen Elektrode als Glimmlicht, an der positiven als Büschel sichtbar wird. Das Glimmlicht ist stets mit einer Forttreibung der Luft verbunden und unterhält daher die erzeugte Luftverdünnung. Der auffallende Umstand, dass bei den gewöhnlichen Versuchen in freier Luft das Glimmen nur an Stellen von Leitern auftritt, die eine grosse elektrische Dichtigkeit besitzen und sich nicht durch Funken entladen können; hier im Gegentheil das Glimmen bedingt wird durch das Vorangehn von Funken, wird erklärlich, da dem Funkenstrome nur die Bestimmung zukommt, die Luftverdünnung einzuleiten. In der Neeff'schen Beobachtung an der Zunge des Inductionsapparats wird die Wirkung der Funken durch die oscillirende Zunge unterstützt, da die Funken in der verdünnten Luftwelle übergehn, welche der von der Spitze abgehenden Zunge folgt.

Nach dieser Erörterung gibt die Neeff'sche Lichterscheinung keineswegs den Beweis einer überall vorwaltenden Lichtentwickelung an der negativen Elektrode, sondern bleibt nur ein artiges Corollar zu der Erfahrung, dass in stark verdünnter Luft und bei geringer Entfernung zweier Elektroden, nur die negative Elektrode mit Glimmlicht bedeckt wird, indess bei geringer Verdünnung und grösserer Entfernung auch die positive Elektrode glimmt. So liess Faraday in einer Glocke Elektricität zwischen zwei Metallstäben übergehen, deren Enden 4 Zoll von einander standen, und sah beide Stäbe in einer Strecke von mehr als 1 Zoll mit Glimmlicht bedeckt; er sah eine positiv elektrische Kugel glimmen, der eine negativ elektrisirte Spitze gegenüberstand. Die Luft war in der Glocke bis 4,4 Zoll Quecksilber verdünnt (exper. resear. 1531. 1529).

Ist hiermit das Neeff'sche Phänomen im empirischen Sinne erklärt, das heisst auf eine früher bekannte Erschei-

nung zurückgeführt, so darf nicht vergessen werden, dass diese bekannte Erscheinung sehr räthselhaft ist und noch immer ihre theoretische Erklärung erwartet.

Elektroskopische Wirkung der Geissler'schen Röhren.*

Die hohlen mit stark verdünnten Gasen gefüllten und eingeschmelzten Platindräthen versehenen Glaskörper, welche Herr Geissler in Bonn in verschiedener Form anfertigt und die sich unter der Bezeichnung der Geissler'schen Röhren in den Händen vieler Physiker befinden, eignen sich zu manchem lehrreichen Versuche über das elektrische Licht. Die folgenden Erfahrungen dürften von einigem Interesse sein. Die meisten der mir vorgekommenen Röhren zeigten am Inductionsapparate, wie an der Elektrisirmaschine, das oft beschriebene, in Schichten getheilte elektrische Licht, und nebenbei das schön grüne Fluorescenzlicht, welches im Glase der Röhren durch das elektrische Licht hervorgerufen wird. Um die Aenderung der Lichterscheinung durch Wirkung eines Magnets am leichtesten zu zeigen, dient die Röhrenform, welche aus zwei verschieden (3½ und 11½ Linien) weiten Cylinderröhren zusammengesetzt und deren Gasfüllung so regulirt ist, dass bei einer gewissen Richtung des elektrischen Stromes nur die enge Röhre mit Licht erfüllt, die weite 3½ Zoll lange Röhre hingegen bis auf die blauglimmende Platinelektrode dunkel ist. Umfasst man dann die weite Röhre mit den Schenkeln eines Stahlmagnets, so wird ein grosser Theil derselben mit geschichtetem Lichte erfüllt, und zwar werden die Lichtscheiben je nach der Lage der Pole des Magnets nach der einen oder andern Seite hingedrängt. Da nicht alle so gestalteten von Geissler gefertigten Röhren sich zu diesem Versuche eigneten (unter 8 von mir untersuchten nur 3), so

* Poggendorff's Ann. 104. 321. (1858.)

liess ich eine Glasröhre der beschriebenen Form anfertigen, an dem einen Ende mit einer durchbohrten, durch einen Stöpsel verschliessbaren Fassung, an dem andern Ende mit einem Hahnstücke versehen, und füllte sie mit Luft und Leuchtgas. War diese Röhre bis auf 1½ Linie Quecksilberdruck exantlirt, so zeigte sie die beschriebene Erscheinung. Das richtige Verhältniss der Gase erhielt ich, indem ich die Röhre durch Verdrängung ganz mit Leuchtgas füllte, bis 1½ Linie Druck auspumpte, sich mit Luft füllen liess und wiederum exantlirte. Dieser Versuch ist, gleich auffallend, am Inductionsapparate, wie an der Elektrisirmaschine anzustellen, der folgende am besten an einem Inductions-Apparate, der mit einer geräuschlosen Unterbrechungsvorrichtung versehen ist.

Legt man an eine leuchtende Geissler'sche oder selbstgefertigte Röhre irgend welcher Form und Länge ein in der Hand gehaltenes Stanniolblatt, so entsteht ein rasselndes Geräusch, dem des Wassers vor dem Kochen ähnlich. Am stärksten ist das Geräusch, wenn das Stanniolblatt an eine Erweiterung der Röhre angelegt wird, und man erhält es daselbst oft auch ohne Stanniol durch leises Anlegen der Finger. Zugleich mit dem Geräusche tritt, wie ich beiläufig bemerke, die bekannte Ablenkung der Lichterscheinung ein, die an einer 19 Zoll langen Röhre in eigenthümlicher Weise statt fand. Die Mitte dieser Röhre bildete ein Ellipsoid (Axen 3 und 2 Zoll), das mit einem matten schwach geschichteten rothen Lichte erfüllt war. Bei der Berührung des Ellipsoids mit dem Finger bog sich nicht nur das rothe Licht demselben zu, sondern es erschien auch unter dem Finger an der innern Glaswand ein schön blaues Licht, das sich mehre Linien hoch in das Innere des Ellipsoids erhob.

Das auffallende Geräusch bei der Berührung der Röhren mit Leitern rührt von ausserordentlich kleinen zum Leiter überspringenden Funken her, welche, des ihnen nahen elektrischen Lichtes wegen, selbst in der Dunkelheit mir nicht sichtbar waren. Als ich aber eine Erweiterung, z. B. das beschriebene Ellipsoid, mit einem Stanniolstreifen beklebte,

erhielt ich von diesem mit dem Finger, einem Stanniolblatte oder einer feinen Drathspitze, am Tage sichtbare Funken in grosser Menge. Die elektrische leuchtende Gassäule im Innern der Röhre wirkt durch Influenz auf das Glas, die ihr gleichnamige Elektricität geht beim Eintreten des Oeffnungsstroms vom Glase auf den angelegten Leiter über, und beim Aufhören desselben an das Glas zurück. Legt man an eine mit Stanniol bekleidete Stelle der Röhre den Zuleiter eines Goldblattelektroskops an, so bleiben die Blätter desselben in beständiger Bewegung und das Elektroskop findet sich nur bei behutsamer Entfernung desselben von der Röhre geladen. Um die Anordnung der beiden Elektricitäten in der leuchtenden Gassäule zu finden, ist es daher sicherer, sich einer nicht zu kleinen Prüfungsscheibe aus Stanniol zu bedienen, diese an die Röhre anzulegen, ableitend zu berühren, zu isoliren und an einem Säulenelektroskope zu prüfen. Bequemer ist es, einen dünnen Drath vom Zuleiter des Säulenelektroskops zu einer mit Stanniol bekleideten, auf einen Augenblick ableitend berührten Stelle der Röhre zu führen. Eine ganz cylindrische 13½ Zoll lange, etwa 4 Linien weite Geissler'sche Röhre zeigte eine gleichmässig lavendelblaue Lichtsäule mit einander parallelen scharfen Querstreifen, so dass sie, von der positiven Elektrode an bis 7 Linien vor der negativen Elektrode, einem in halbe Linien getheilten Maassstabe ähnlich sah. Um diese Röhre wurde ein schmaler Stanniolstreifen gewickelt und mit dem zum Säulenelektroskope führenden Silberdrathe festgebunden. Nach der Berührung dieses, an verschiedene Stellen der Röhre gebrachten, Stanniolringes erhielt ich, dem Zeichen nach, constante Ausschläge des Goldblattes am Elektroskope. Waren beide Enden des Inductionsapparats gleich gut isolirt, so wurde die Mitte der leuchtenden Röhre gefunden durch Verschiebung des Stanniolringes bis zu der Stelle, wo das Elektroskop keine Elektricität anzeigte. Von da an bis zur positiven (Büschel-) Elektrode wirkte die leuchtende Gassäule in zunehmender Stärke positiv influencirend, und ebenso negativ influenci-

rend bis zur negativen (Glimm-) Elektrode. Die Gassäule war demnach positiv elektrisch von der, beim Oeffnungsstrome, positiven Elektrode bis zur Mitte der Röhre, und von da an negativ bis zur negativen Elektrode, zeigte also dieselbe elektrische Anordnung wie ein feuchter Faden, der die Pole der voltaischen Säule verbindet [1]). Die Geissler'schen Röhren mit Erweiterungen wirkten zwar bedeutend stärker elektroskopisch, als die eben beschriebene Röhre, gaben aber weniger constante Anzeigen und ihre entgegengesetzt elektrischen Theile waren nicht an Länge einander gleich. Am stärksten elektrisch fand ich eine 19 Zoll lange unsymmetrische Röhre, die, in dieser Folge, aus einer Kugel, einer $^3/_4$ Linie weiten Röhre, einem Ellipsoide, einer 2 Linien weiten Röhre und einem horizontalen Cylinder zusammengesetzt war. Das in ihrer Mitte befindliche Ellipsoid war so stark elektrisch, dass es Funken gab, und zwar war daselbst die Art der Elektricität gleichartig mit der, welche der Cylinder gab, positiv oder negativ influencirend, je nachdem die Elektrode im Cylinder positiv oder negativ war. Dies ist nicht auffallend; aber sehr bemerkenswerth scheint es mir, dass bei allen Röhren der dunkle Raum vor der negativen Elektrode sehr schwach influencirend wirkte. Bei keiner Röhre war dies auffallender, als an der oben bei der Wirkung des Magnets beschriebenen, die aus zwei ungleich weiten Röhren zusammengesetzt ist, und in welcher der dunkle Raum 3 $^1/_4$ Zoll, also fast die ganze Länge der weiten Röhre einnimmt. Als ein Stanniolring um die weite Röhre gelegt und mit dem Silberfaden des Säulen-Elektroskops verbunden war, erhielt ich von der ganzen Länge dieser Röhre nur sehr schwache Anzeigen einer Influenz von negativer Elektricität, wenn die Elektrode in derselben negativ war, hingegen sehr starke Influenz positiver Elektricität, wenn sie positiv war.

---

1) Elektricitätslehre 2. 435.

Geissler's nachleuchtende Röhren.*

Ein ausgezeichnetes Exemplar dieser merkwürdigen, weit verbreiteten Röhren besteht aus 7 in gerade Linie gestellten Glaskugeln ($1^3/_4$ Zoll Durchmesser), die durch bogenförmige Glasröhren zu einer Schlangenlinie verbunden sind, und misst 19 Zoll zwischen den beiden in den Endkugeln befindlichen Eisen-Elektroden. In einer der mittleren Kugeln ist ein Tropfen einer wasserhellen Flüssigkeit bemerkbar, der bei Neigung der Röhre seine Stelle ändert. Gerade ausgestreckt würde die Röhre etwa 3 Fuss lang sein; dennoch geht ein elektrischer Strom leicht hindurch, und das Nachleuchten kann deutlich durch die Funken eines kleinen Elektrophors (von einer Zündmaschine) bewirkt werden. Am schönsten erhält man die Erscheinung durch den Strom eines magneto-elektrischen Inductionsapparats. Schon ein einzelner Oeffnungsstrom hat das Nachleuchten zur Folge, dessen Stärke und Dauer, während etwa 20 Sekunden mit der Anzahl der erregenden Ströme zunimmt. Bei dem Durchgange der Ströme ist die negative Elektrode an ihrer breiten blauen Hülle erkennbar, das Licht in den gekrümmten Verbindungsröhren roth mit breiten verwaschenen Schichten. Ganz eigenthümlich ist das Licht der Kugeln. Diese scheinen von einem grünlich gelben leuchtenden Nebel gleichmässig erfüllt, und machen den Eindruck von Innen erleuchteter Kugeln aus durchscheinendem Material. Selbst bei mässig hellem Zimmer ist noch eine grünliche Färbung der Kugeln zu erkennen.

Nach dem Aufhören des elektrischen Stromes leuchten alle Theile der Röhre mit gelbem grünlich abklingendem Lichte, das in den Kugeln sehr intensiv ist. Durch Insolation oder Bestrahlen mit elektrischem Lichte wird die Röhre nicht leuchtend. Bei später Abenddämmerung wurde das Nachleuchten 15 Sekunden lang beobachtet, ohne dass die Augen vorher während der Dauer des Stromes geschlos-

---

* Poggendorff's Annal. 110. 523. (1860.)

Wichtig für die Elektricitätslehre ist bei diesem sehr verwickelten Versuche allein die Rückwirkung des elektrischen Windes auf die ihn erzeugende Spitze, die einfach und klar an dem Spitzenrade gezeigt wird, das, 1760 von Hamilton erfunden, mit Recht den goldenen Fisch verdrängt hat.

Als unterhaltender Versuch ist der goldene Fisch in neuerer Zeit wieder erweckt worden [1]). Blattgoldstücke von länglich eckiger Gestalt, ½ bis 1 Zoll lang, 1 bis 1½ Linie breit, werden auf Papier gelegt und in die Nähe des Knopfes einer geladenen leydener Flasche gebracht. Die Blättchen fliegen auf den Knopf zu und eins und das andre bleibt, ohne ihn berührt zu haben, vor ihm schweben, oft 2 Zoll von ihm entfernt. Die Flasche wird dabei langsam entladen; führt man ihr die Elektricität wieder zu, die sie verloren hat, so kann bei trockner Luft das freie Schweben eines Goldblattes lange Zeit erhalten werden.

Drittes Kapitel.

Eigenthümliche Entladungen.

Ueber die Unterbrechung des Schliessungsbogens der elektrischen Batterie durch einen Condensator.*

(Zu §. 724.)

In einer, der Akademie im Jahre 1850 vorgelegten, Abhandlung habe ich den elektrischen Strom untersucht, der sich in einem durch Condensatorflaschen unterbrochenen Drathe bewegt [2]). Es wurde dieser Drath auf die einfachste Weise benutzt, die Belegungen einer geladenen Batterie mit

1) Poggend Ann. 88. 493.
* Monatsberichte 1853. 607.
2) Abhandl. d. Akad. 1850. Elektricitätslehre §. 708—726.

einander zu verbinden, und dadurch, und eben nur dadurch, die Möglichkeit gewonnen, die Gesetze einer eigenthümlichen und verwickelten Strombewegung zu ermitteln. So konnte aus den Versuchen eine Formel abgeleitet werden für die Stärke des Stromes nach der Anzahl der benutzten Batterie- und Condensatorflaschen, eine Formel, die seitdem durch eine, nach einem theoretischen Principe von Clausius[1]) geführte, Rechnung eine erfreuliche Bestätigung erhalten hat; es konnte die Abhängigkeit der Stromstärke von der Beschaffenheit der gebrauchten Dräthe, von der Einschaltung eines zweiten Condensators, und manche andere Eigenthümlichkeit des Stromes näher angegeben werden. —

Der unterbrochene Drath ist indess noch auf andere Weise zu benutzen; man kann ihn als Zweig an einen vollen Schliessungsbogen anlegen, ihn in einer Nebenschliessung anbringen und so fort. Dann erhält man Wirkungen vom Drathe oder von den mit ihm zusammenhängenden Theilen, die mit den an einem vollen Schliessungsbogen erhaltenen Wirkungen nicht übereinstimmen, die aber nur auffallen können, wenn man sie von einer einfachen Ursache ableitet, und die grosse Verwickelung der dabei thätigen Ursachen übersieht[2]). Solche Versuche sind von untergeordneter Bedeutung in der Elektricitätslehre, die es zur Aufgabe hat, die verschiedenen Wirkungsarten der Elektricität möglichst zu isoliren und rein hervortreten zu lassen; aber sie können praktisch wie theoretisch nützlich werden, indem sie einerseits eine Anordnung des Apparates vermeiden lehren, welche verschiedenartige Bewegungen der Elektricität gleichzeitig veranlasst, andererseits Gelegenheit geben, die zusammengesetzte Wirkung auf die einfache zurückzuführen, und damit bereits erkannten Gesetzen eine neue Bestätigung oder

---

1) Poggend. Ann. 86. 364. Elektricitätslehre 1. 459.

2) Die neueste Arbeit dieser Art befindet sich unter dem Titel: über die inducirte Ladung der Nebenbatterie in ihrem Maximum, von Knochenhauer in Meiningen, im Märzhefte 1853 der Sitzungsberichte der Wiener Akademie. Man findet dort die Schlagweite in dem einen Zweige einer Nebenschliessung untersucht, deren anderer Zweig durch Condensatorflaschen unterbrochen ist.

Erweiterung hinzuzufügen. Ich habe in dem Folgenden einige solche, und zwar die relativ einfachsten, Fälle einer verwickelten elektrischen Wirkung behandelt und mich bemüht, ihre Abhängigkeit von der einfachen Wirkung darzulegen, dabei aber nicht vergessen, dass es sich zumeist um specielle Fälle handelt, bei welchen eine scharf messende Untersuchung nicht nur unnütz, sondern sogar dem beabsichtigten Zwecke schädlich sein würde. Ich werde deshalb nur runde Verhältnisszahlen mittheilen, wo es allein um den Gang einer Erscheinung zu thun ist, und dieser Gang durch eine geringe Aenderung des Apparats eine andere Gestalt annehmen würde.

Der unterbrochene Bogen als Zweig.

Strom im unterbrochenen Zweige. Es wurde ein unterbrochener Schliessungsbogen gebildet: von dem einen Arme eines Henley'schen Ausladers, der mit dem Entladungs-Apparate der Batterie in Verbindung stand, wurde ein 29 Zoll langer, $^5/_8$ Linie dicker Kupferdrath zu dem Ansatze eines elektrischen Thermometers geführt, in dessen Kugel sich ein 115 Linien langer Platindrath von 0,0185 Lin. Radius befand, und von dessen anderem Ansatze ein 67 Zoll langer, $^1/_2$ Lin. dicker Kupferdrath zu dem Innern mehrer Condensatorflaschen ging. Die äussere Belegung dieser Flaschen war durch einen 44 Zoll langen, $^5/_8$ Lin. dicken Kupferdrath mit dem zweiten Arme des Ausladers verbunden, der durch kurze Kupferdräthe und einen 84,2 Linien langen Platindrath von 0,0405 Lin. Radius mit der kupfernen Ableitung zusammenhing, die zur äussern Belegung der Batterie führte. Es ist Dies die Anordnung des Apparates, die in der oben berührten Abhandlung gebraucht wurde. Jede Flasche der Batterie hatte, wie dort, eine innere Belegung von 2,6, jede Condensatorflasche eine Belegung von 1,5 Quadratfuss. Wenn die Batterie geladen war, wurde die Verbindung der äusseren Belegungen des Condensators und der Batterie bewirkt, und der Entladungsapparat stellte die Verbindung der inneren Belegungen beider Apparate her. Der

elektrische Strom, der durch den unterbrochenen Bogen ging, erwärmte das Thermometer und erhielt für die Einheit der Ladung die folgenden Werthe, die aus drei Beobachtungen hergeleitet sind. Es wurden drei Batterieflaschen gebraucht.

Condensatorflaschen	1	2	3	4	5
Strom f. Einh. d. Lad. a'	0,31	0,49	0,63	0,74	0,83
a' berechnet	0,27	0,48	0,63	0,75	0,85

Diese Werthe schliessen sich der früher abgeleiteten Formel genügend an: $\Theta = a' \frac{q^2}{s}$ $a' = \frac{a}{\frac{s}{c} + 0{,}577}$, wo Θ die beobachtete Erwärmung, s die Zahl der Batterieflaschen, c die der Condensatorflaschen, q die Elektricitätsmenge bedeutet, und für a der Mittelwerth 0,99 gesetzt worden ist. —

Es wurden nun die beiden Arme des Ausladers durch einen, 23 Zoll langen, $^5/_8$ Linie dicken, Kupferdrath mit einander verbunden, so dass ein verzweigter Schliessungsbogen entstand, in welchem der eine Zweig voll war und aus jenem Kupferdrathe gebildet wurde, der andere Zweig unterbrochen war, und die oben beschriebenen Kupferdräthe nebst dem Platindrathe des Thermometers enthielt. Nachdem die Erwärmungen des Thermometers bei Anwendung von drei Batterieflaschen und einer verschiedenen Anzahl von Condensatorflaschen beobachtet waren, wurden im vollen Zweige an die Stelle des langen Kupferdrathes zwei, 7 Zoll lange, $^5/_8$ Linie dicke, Kupferdräthe gesetzt, zwischen ihnen ein Platindrath von 84,2 Linien Länge, 0,0405 Lin. Radius angebracht, und die Erwärmungen auf's Neue beobachtet. Folgende sind die Erwärmungen im unterbrochenen Zweige für Einheit der Ladung der Batterie, die aus je drei Beobachtungen hergeleitet sind.

Im unterbr. Zweige: Condensatorfl.	1	2	3	4	5
Erwärm. bei voll. Kupferzweige	0,05	0,22	0,51	0,57	0,47
„ „ „ Platinzweige	0,046	0,16	0,36	0,39	0,35

Es fällt hier sogleich auf, dass die Erwärmungen im unterbrochenen Zweige durchgängig geringer sind, wenn der

volle Zweig aus Platin, als wenn er aus Kupfer bestand, ein Zeichen, dass diese Erwärmungen nicht von einem einfachen Theilstrome herrühren. Der durch Theilung des Hauptstroms entstandene Strom ist nach bekanntem Gesetze in einem Zweige desto stärker, je geringer das Leitungsvermögen des andern Zweiges ist. Hier findet das Entgegengesetzte statt und lässt noch auf eine andere Elektricitätsbewegung schliessen. Die Condensatorflaschen, die durch den Theilstrom geladen sind, werden wieder entladen, und der volle Zweig macht einen Theil ihrer Schliessung aus. Diese beiden Ströme — der aus der Batterie in den Condensator tretende Strom und der Entladungsstrom des Condensators — verfolgen offenbar im unterbrochenen Zweige entgegengesetzte Richtungen, und die Grösse ihrer vereinigten Wirkung zeigt, was sich später bestätigen wird, dass diese Ströme von einander getrennt sind, und in der Zeit nach einander wirken. Die im Thermometer des unterbrochenen Zweiges beobachtete Erwärmung ist demnach die Summe der Wirkungen zweier Ströme, die mit der einfachen Wirkung eines Stromes nicht unmittelbar zu vergleichen ist. Lässt man, bei ungeänderten Zweigen, die Zahl der benutzten Condensatorflaschen zunehmen, so nimmt der in den Condensator tretende Strom zu, da er eine wachsende Elektricitätsmenge erhält, der aus dem Condensator tretende Strom nimmt ab, weil seine Dichtigkeit im umgekehrten Verhältnisse der benutzten Flaschen abnimmt, seine Elektricitätsmenge in einem geringeren Verhältnisse wächst. Beide Ströme werden aber ferner in sehr verwickelter Weise geändert. Ich habe bei der Untersuchung der Stromtheilung in vollen Zweigen wahrscheinlich gemacht, dass in jedem Zweige durch den darin sich bewegenden Strom ein Nebenstrom erregt wird, der durch den andern Zweig abfliesst. Ein Nebenstrom schwächt einen Hauptstrom, wenn er mit ihm in gleicher Richtung, und verstärkt ihn, wenn er in entgegengesetzter Richtung fliesst. Der in den unterbrochenen Zweig eintretende Hauptstrom wird daher geschwächt durch den in demselben Zweige erregten Nebenstrom, ver-

stärkt durch den im vollen Zweige erregten. Durch die vermehrte Zahl der Condensatorflaschen kann der verstärkende Nebenstrom nur wenig geändert werden, weil er zwar zunimmt mit Vergrösserung der Condensatorfläche, die seinen Bogen unterbricht, aber abnimmt, indem er von einem schwächern Hauptstrome im vollen Zweige erregt wird. Der schwächende Nebenstrom im unterbrochenen Zweige wird mit Vermehrung der Condensatorflaschen unbedingt stärker, weil er von einem stärkern Hauptstrome erregt wird und sich zugleich auf eine grössere Condensatorfläche verbreiten kann. Was den aus dem Condensator tretenden Strom betrifft, so erfährt dieser nur die Einwirkung eines ihn schwächenden Nebenstromes, der in dem unterbrochenen Zweige erregt wird und mit der Vermehrung der Condensatorflaschen zunimmt. Nehmen wir daher auch an, dass die erregten Nebenströme zu schwach sind, um unmittelbar die Erwärmung im Thermometer oder die Ladung des Condensators zu ändern, so ergibt sich doch schon eine grosse Verwickelung der, die Erwärmung im unterbrochenen Zweige bestimmenden Ursachen. Diese Erwärmung ist Folge zweier entgegengesetzt gerichteten Ströme, von welchen der eine in den Condensator hinein, der andere aus ihm heraustritt. Mit Vermehrung der Condensatorflaschen nimmt der erste Strom an Stärke zu, der zweite ab, so aber, dass die Summe ihrer Wirkungen fortwährend steigen würde. Beide Ströme werden aber in ihrem Gange mehr und mehr durch die erregten Nebenströme aufgehalten, und es muss daher eine Gränze eintreten, an welcher die Steigerung der Erwärmung in eine Abnahme übergeht. Dieser Gang der Erscheinung ist in dem mitgetheilten Versuche sehr auffällig. Bei vollem Kupferzweige steigt die Erwärmung im unterbrochenen Zweige mit 1 und 2 Condensatorflaschen im Verhältnisse 1 zu 4,4; bei 2 und 4 Flaschen nur wie 1 zu 2,6 und von 4 bis 5 Flaschen nimmt sie ab; dasselbe Verhalten findet bei Anwendung des vollen Platinzweiges statt.

Der Gang der Erwärmung im unterbrochenen Zweige mit Vermehrung der Condensatorflaschen und damit die

Gränze, wo die Zunahme der Erwärmung in eine Abnahme übergeht, hängt nicht allein von dem Verhältnisse der angewandten Batterie- und Condensatorflächen ab, sondern auch von der Beschaffenheit der Zweige, und man kann danach und nach der Ausdehnung, die der Versuchsreihe gegeben wird, die Erwärmung zunehmend oder abnehmend, oder constant erhalten. Ich werde solche Fälle bei der Erwärmung im vollen Zweige anführen, die eine ähnliche Verwickelung darbietet, wie die hier betrachtete, und füge hier nur noch einen Versuch hinzu, in welchem die Schwächung der Erwärmung durch die Nebenströme besonders deutlich hervortritt.

Wenn man im einfachen unterbrochenen Schliessungsbogen der Batterie die Zahl der Condensator- und Batterieflaschen in gleichem Verhältnisse zunehmen lässt, so bleibt nach der oben angeführten Formel $a' = \frac{a}{\frac{s}{c} + 0{,}577}$, da $\frac{s}{c}$ sich nicht ändert, die Erwärmung für die Einheit der Ladung constant. Als die Erwärmung im unterbrochenen Zweige unter dieser Bedingung untersucht wurde, fand ich bei Anwendung des vollen Kupfer- und Platinzweiges die folgenden Werthe.

Batterie- und Condensat.-Flaschen:	2	3	4	5
Erwärmung im unterbroch. Zweige bei				
vollem Kupferzweige	0,55	0,52	0,47	0,42
Platinzweige	0,35	0,34	0,31	0,27

Bei diesen Versuchen war das Verhältniss der Dichtigkeit des aus dem Condensator tretenden Stromes zu der des eintretenden constant, während es in den früheren Beispielen mit Vermehrung der Condensatorflaschen abgenommen hatte. Wenn bei zwei Batterieflaschen der Hauptstrom mit der Dichtigkeit 1 in den Condensator eintritt und mit der Dichtigkeit n austritt, so wird bei 4 Batterieflaschen, wo der eintretende Strom die Dichtigkeit $^1/_2$ besitzt, der austretende die Dichtigkeit $\frac{n}{2}$ haben, weil die Zahl der Con-

densatorflaschen verdoppelt worden ist. Setzt man also, wie bei der Berechnung der Erwärmung geschehn ist, den Entladungsstrom der Batterie constant, so ist die Dichtigkeit des in den Condensator eintretenden und austretenden Stromes ebenfalls constant. Eine Verminderung der Elektricitätsmenge in dem Theilstrome des unterbrochenen Zweiges mit Vermehrung der Condensatorflaschen ist in keiner Weise anzunehmen, so dass die beobachtete Verminderung der Erwärmung allein den in den Zweigen erregten Nebenströmen zugeschrieben werden kann.

Strom im vollen Zweige. Durch den vollen Zweig eines Schliessungsbogens, neben dem ein unterbrochener Zweig angelegt ist, geht ersichtlich dieselbe Elektricitätsmenge, die sich im ganzen ungetheilten Hauptstrome befindet, also dieselbe Menge, die das den vollen Zweig bildende Drathstück durchströmt, wenn der unterbrochene Zweig fehlt. Aber diese Menge geht durch das im einfachen Schliessungsbogen liegende Drathstück mit gleicher, der Oberfläche der Batterie entsprechenden, Dichtigkeit in Einem Strome, durch das Drathstück hingegen, das im Zweige liegt, in zwei aufeinanderfolgenden gleichgerichteten Strömen, von welchen der erste Strom die der Batterie entsprechende Dichtigkeit besitzt, der zweite hingegen die der Condensatorfläche entsprechende Dichtigkeit. Vermehrt man in successiven Versuchen die Zahl der Condensatorflaschen, so wird der Strom mit constanter Dichtigkeit eine immer geringere Elektricitätsmenge, der mit veränderlicher Dichtigkeit eine immer grössere Menge erhalten, und diese letzte mit immer geringerer Dichtigkeit versehen werden. Es muss hiernach die Summe der Wirkungen der beiden Ströme mit zunehmender Zahl der Condensatorflaschen fortwährend abnehmen. In der That lässt sich der Apparat so einrichten, dass dies vorhergesehene Ergebniss bemerklich wird. Es wurde der oben beschriebene Schliessungsbogen mit dem vollen Platinzweige gebraucht. Um das Wesentliche dieser Anordnung zu wiederholen: im vollen Zweige befand sich ein Platindrath von 84,2 Lin. Länge, 0,0405 Lin. Radius, und ein

gleicher Drath im Stamme; der unterbrochene Zweig enthielt einen Platindrath von 115 Lin. Länge, 0,0185 Lin. Radius. Der Platindrath des vollen Zweiges wurde in die Kugel des Thermometers eingeschlossen und dessen Erwärmung untersucht. Ehe der unterbrochene Zweig angelegt war, fand ich die Erwärmung für die Einheit der Ladung 0,32, wofür in der folgenden Tafel 100 gesetzt ist. Nach Anlegung des Zweiges erhielt ich mit drei Batterie- und einer veränderlichen Zahl von Condensatorflaschen die folgenden Verhältnisse der Erwärmung im vollen Zweige.

Ohne unterbr. Zweig.	Mit demselben u. Condensatorfl.	1	2	3	4	5
100		103	94	81	72	65

Dass die Erwärmung im vollen Zweige nach Anlegung des unterbrochenen Zweiges in der zweiten Beobachtung stärker ist, als vorher, wird weiterhin in noch höherem Maasse bemerkt werden und hat nichts Auffälliges. Die vorher durch den Drath in Einem Strome gehende Elektricitätsmenge geht nach Anlegung des unterbrochenen Zweiges in zwei Strömen hindurch, von welchen der zweite Strom die dem Condensator entsprechende Dichtigkeit besitzt. Mit Vermehrung der Condensatorflaschen nahm die Erwärmung im vollen Zweige fortwährend ab. Als indess diese Versuchsreihe wiederholt wurde, nachdem der dünne Platindrath und ein Kupferdrath aus dem unterbrochenen Zweige fortgelassen war, dieser Zweig also aus zwei Kupferdräthen bestand, von welchen der eine, 44 Zoll lang, $^5/_8$ Lin. dick, zu der äusseren, der andere, 67 Zoll lang, $^1/_2$ Lin. dick, zu der inneren Belegung des Condensators führte, erhielt ich die folgenden Werthe der Erwärmung im vollen Zweige.

Ohne unterbr. Zweig.	Mit demselben. Condensatorfl.	1	2	3	4	5
	Mit 3 Batterieflaschen.					
100	Erwärmung	108	111	116	108	77
	Mit 4 Batterieflaschen.					
100		108	108	108	111	108

Mit 5 Batterieflaschen.

Ohne unterbr. Zweig.	Mit demselben. Condensatorfl.	1	2	3	4	5
100	Erwärmung	107	merklich constant			

Als der Platindrath im Stamme fortgelassen war, wodurch die Erwärmung ohne unterbrochenen Zweig auf 0,39 stieg, fand ich mit 3 Batterieflaschen die Werthe der Erwärmung:

100	102	105	105	77	61

Es geht aus diesen Versuchen hervor, dass die Abnahme der Erwärmung im vollen Zweige mit Vermehrung der benutzten Condensatorflaschen keine allgemein gültige Erscheinung ist, und dass man durch Aenderung des Leitungsvermögens der Zweige und des Verhältnisses der constanten Batterie zu der Fläche einer Condensatorflasche, mit Vermehrung dieser Flaschen eine zunehmende oder eine constante Erwärmung erhalten kann. Die Bedingungen, von welchen die Erwärmung im vollen Zweige abhängt, dürfen daher nicht allein in der Theilung des Hauptstromes gesucht werden, sondern auch in den von beiden Theilen des Stromes erregten Nebenströmen, die im vorigen Abschnitte erwähnt wurden. Es ist hier der Nebenstrom der einflussreichste, der von dem in den Condensator eintretenden Strome erregt wird, da der ihn erregende Hauptstrom eine constante Dichtigkeit und eine mit der Zahl der Condensatorflaschen zunehmende Elektricitätsmenge besitzt. Dieser Nebenstrom fliesst dem Theilstrome im vollen Zweige entgegen und wird diesen daher verstärken. Ob diese Stärkung hinreichend ist, die normale Schwächung der Erwärmung im vollen Zweige zu überwiegen, ist in den bisher vorgetragenen Versuchen nicht vorherzubestimmen gewesen, weil die Aenderungen des Apparats alle Bedingungen, von welchen die Erwärmung abhängt, in verschiedenem Sinne änderten, so dass die Seite nicht anzugeben war, nach der die überwiegende Wirkung fiel. Es war mir daher erwünscht, eine Versuchsreihe anstellen zu können, bei welcher die Wirkung der Nebenströme nach früheren Erfahrungen anzugeben war.

Es bleibe Batterie, Condensator und voller Zweig ungeändert, und der Verzögerungswerth des unterbrochenen Zweiges werde durch Einschaltung von steigenden Längen eines Drathes successiv vergrössert. Nach dem Gesetze der Stromtheilung tritt in dem vollen Zweige ein immer stärkerer Strom auf, der weder durch den immer schwächer werdenden Strom im unterbrochenen Zweige, noch von dem, durch diesen Strom erregten, Nebenstrome eine wesentliche Aenderung erleiden kann. Es bleibt also überwiegend die Wirkung des im vollen Zweige erregten Nebenstromes, der eine successiv schlechtere Leitung erhält. Die Wirkung eines solchen Nebenstromes auf den ihn erregenden Hauptstrom ist bekannt; sie besteht in einer Schwächung des Hauptstromes, die bis zu einer bestimmten Länge der Drathleitung des Nebenstromes zunimmt und mit weiterer Verlängerung abnimmt, so dass im Verlaufe der Versuchsreihe der Hauptstrom bis zu einer Gränze abnimmt und zuletzt seinen anfänglichen Werth wieder erreicht. Dieser eigenthümliche Gang lässt sich am Strome des vollen Zweiges leicht aufzeigen. An den vollen Zweig, der das Thermometer enthielt, wurde ein unterbrochener Zweig angelegt, indem ein Kupferdrath zu der äussern, ein anderer, aus zwei Theilen bestehender, Kupferdrath zu der innern Belegung des Condensators geführt wurde. Zwischen die Enden des letztern Drathes wurden zunehmende Längen eines Platindrathes von 0,0286 Lin. Radius eingeschaltet. Ich bestimmte bei Anwendung von 3 Condensator- und Batterieflaschen die Erwärmung im vollen Zweige, die den Werth 0,26 hatte, ehe der unterbrochene Zweig angelegt war.

Ohne unterbr. Zweig.	Mit dems. und Platindrath				
	0	0,49	1,47	3,97	
Wärme im vollen Zweige 100	119	88	77	84	

Platindrath	7,9	15,9	59,5	103,2 Fuss
Wärme im voll. Zweige	92	96	100	100

Die Erwärmung im vollen Zweige, die, als der unterbrochene Zweig nur Kupferdrath enthielt, den Werth 119 besass, wurde durch Einschaltung von 1,47 Fuss Platindrath bis 77 geschwächt und stieg durch weitere Verlängerung des eingeschalteten Drathes, bis sie bei Einschaltung von 59,5 Fuss Drath den Werth 100 erreichte, den sie vor Anlegung des Zweiges besessen hatte, und der durch weitere Verlängerung des Drathes nicht zu steigern war.

Strom im Stamme. Wenn man den Entladungsstrom an einer Stelle eines einfachen Schliessungsbogens misst, und dann an einer andern Stelle des Bogens einen vollen Zweig anlegt, so gibt die wiederholte Messung in den meisten Fällen einen stärkern Strom an. Die Erwärmung, durch die der Strom gemessen wird, wächst nämlich mit der durch den ganzen Bogen strömenden Elektricitätsmenge und mit abnehmender Dauer der Entladung der Batterie. Die Elektricitätsmenge bleibt constant, der Bogen mag einfach oder verzweigt sein, aber die Entladungsdauer nimmt offenbar ab, wenn ein voller Zweig an den Bogen gelegt wird, und der Strom muss dadurch in gleicher Weise an Stärke zunehmen, als wenn der Bogen an der Stelle der Verzweigung eine grössere Dicke erhalten hätte. Aus gleichem Grunde darf eine Verstärkung des Stromes im Stamme erwartet werden nach Anlegung eines unterbrochenen Zweiges, da es für die Entladung der Batterie gleichgültig ist, ob ein Theil ihrer Elektricität, statt neutralisirt zu werden, sich in den Belegungen der Condensatorflaschen anhäuft, und die Entladung der Condensatorflaschen erst nach der Gesammtentladung der Batterie eintritt, also auf den beobachteten Strom keinen Einfluss haben kann. — Ich habe indess früher bei der Untersuchung des Stromes in vollen Zweigen den Fall angeführt, in welchem an den Kupferdrath des Hauptbogens ein langer, dünner Platindrath als Zweig angelegt war, und wonach der Strom im Stamme, der Regel zuwider, nach Anlegung des Zweiges geringer war, als zuvor. Eine Erklärung dieser Erscheinung ist in dem Nebenstrome zu finden, der in dem besser leitenden Zweige erregt worden, und

der bei grosser Verschiedenheit beider Zweige den Gang des in dem besser leitenden Zweige fliessenden Hauptstromes hinlänglich verzögerte, um die beobachtete Schwächung des Stromes im Stamme hervorzubringen. Es kann nun nicht auffallen, dass dieser, bei vollen Zweigen ungewöhnliche, Fall der gewöhnliche wird, wenn der eine Zweig voll, der andere durch Condensatorflaschen unterbrochen ist. Ist die benutzte Condensatorfläche nur klein im Verhältnisse zur benutzten Batteriefläche, so geht der grösste Theil der in der Batteriefläche angehäuften Elektricität durch den vollen Zweig, und der in diesem Zweige erregte Nebenstrom verzögert den darin fliessenden Hauptstrom so bedeutend, dass die Entladungszeit der Batterie grösser wird, als sie vor Anlegung des Zweiges war. Wird die Anzahl der Condensatorflaschen vermehrt, so geht eine geringere Elektricitätsmenge durch den vollen Zweig. Der Nebenstrom in diesem Zweige würde also schwächer als früher sein, wenn er nicht zugleich dadurch gestärkt würde, dass er sich auf eine grössere Condensatorfläche verbreiten kann. Der in dem unterbrochenen Zweige erregte Nebenstrom wird den Hauptstrom im vollen Zweige beschleunigen, und zwar desto mehr, je grösser die Zahl der benutzten Condensatorflaschen ist, weil der Nebenstrom dadurch an Stärke zunimmt. Es ist bei diesem Vorhandensein einander entgegenwirkender Ursachen, die den Gang des Hauptstromes bestimmen, erklärlich, dass mit Vermehrung der Condensatorflaschen der Strom im Stamme bis zu einem Minimum geschwächt und dann fortdauernd gestärkt wird, so dass er einen höheren Werth erhalten kann, als er vor Anlegung des Zweiges besass. Das Minimum, das der Strom erreicht, wie die Grösse der Abnahme und Zunahme mit gleichmässiger Vermehrung der Condensatorflaschen hängt nicht allein von dem Verhältnisse der Batterie zu einer Condensatorflasche, sondern auch von der Beschaffenheit der Zweige ab, wie aus den folgenden Versuchen deutlich hervorgeht. Es wurden hierbei überall drei Batterieflaschen gebraucht, und im Stamme befand sich ein Platindrath von 84,2 Lin. Länge, 0,0405 Lin. Radius,

dessen Erwärmung für die Einheit der Ladung berechnet, den Werth des Stromes angab.

Ohne unterbrochenen Zweig.		Mit demselben. Condensatorfl. 1	2	3	4	5
(voller und unterbroch. Zweig: Kupferdräthe)						
Strom im Stamme	100	100		89		93
(voller Zweig: Kupfer; unterbr. Zweig: Platin 0,49 Fuss; rad. 0,0286 L.)						
	100	98		77		91
(voller Zw.: Platin 84,2 Lin. 0,0405 rad. unterbroch.: Kupfer)						
	100	92	85	77	85	104
(voller Zweig wie vorher; unterbrochener: Platin 115 Lin. 0,0185 rad.)						
	100	91	83	75	83	88

Man sieht in diesen Versuchen den Strom im Stamme mit vermehrter Zahl der Condensatorflaschen abnehmen und dann wieder zunehmen; in der dritten Versuchsreihe übersteigt der Werth des Stromes bei fünf Condensatorflaschen den, welchen er vor Anlegung des Zweiges besass.

Bei fortgesetzter Verlängerung eines Drathes im unterbrochenen Zweige nimmt der Strom im Stamme bis zu einem Minimum ab und dann bis zu seinem anfänglichen Werthe zu; es rührt Dies daher, dass hier, wie früher angeführt worden ist, der schwächende Nebenstrom im vollen Zweige überall eine überwiegende Wirkung erhält. Es wurden drei Flaschen der Batterie und des Condensators benutzt, der volle Zweig enthielt den Platindrath von 84,2 Lin. Länge, 0,0405 rad.; in den Kupferdrath des unterbrochenen Zweiges wurden zunehmende Längen eines Platindraths von 0,0286 Lin. Radius eingeschaltet.

	Ohne Zweig.	Mit demselben. Platindrath 0	0,49	1,47	3,97	7,94
Strom im Stamme	100	84	73	77	80	88

Platindrath	15,9	23,8	39,7	79,4 Fuss.
Strom im Stamme	92	96	96	100

Bei Einschaltung von 79,4 Fuss Platindrath in den unterbrochenen Zweig erhielt der Strom im Stamme denselben Werth, den er vor Anlegung des Zweiges besessen hatte, und über den er durch Verlängerung des Drathes nicht zu bringen war.

Der unterbrochene Bogen als Nebenbogen.

Von den auffallenden Aenderungen der Erwärmung in einem Schliessungsbogen, an den ein unterbrochener Zweig angelegt worden, ist in dem Vorhergehenden die durch unsere bisherige Kenntniss der elektrischen Erscheinungen gebotene Erklärung gegeben worden, indem jene Aenderungen auf die vielfach geprüfte Rückwirkung eines Nebenstromes auf den Hauptstrom zurückgeführt worden sind. Aber diese Erklärung bleibt so lange unvollständig, als nicht gezeigt worden ist, dass die bekannte Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom, die bisher, bis auf Einen Fall, nur bei voller Nebenschliessung geprüft wurde, in gleicher Weise statt findet, wenn die Nebenschliessung durch Condensatorflaschen unterbrochen ist. Durch diese Unterbrechung tritt zu dem Nebenstrome eine neue Elektricitätsbewegung hinzu, die Entladung der durch jenen Strom geladenen Condensatorflaschen. Es bleibt zu zeigen, dass diese Entladung die Rückwirkung nicht stört, was nur dadurch geschehen kann, dass, wie ich überall angenommen habe, die Entladung der Condensatorflaschen von dem Nebenstrome gänzlich getrennt ist, die erste Partialentladung der Flaschen erst dann beginnt, wenn die letzte Partialentladung des Nebenstromes vollendet ist. Die Annahme, dass ein Hauptstrom, der in einem geraden Drathe fliesst, in eben diesem Drathe einen Nebenstrom erregt, wird gerechtfertigt erscheinen, wenn gezeigt worden ist, dass dieser angenommene Nebenstrom auf den Hauptstrom dieselbe Wirkung ausgeübt hat, die unter gleichen Umständen der, in einem vom Hauptdrathe getrennten Drathe erregte, nachweisbare Nebenstrom auf den Hauptstrom ausübt.

Nebenstrom in einem unterbrochenen Drathe. Der Schliessungsbogen der Batterie enthielt die constanten Messingstücke und die zur Verbindung der einzelnen Theile benutzten Kupferdräthe, ausserdem einen 96,7 Lin. langen Platindrath von 0,0286 Lin. Radius und einen 13 Fuss langen, 0,55 Lin. dicken Kupferdrath, der auf einer Holzscheibe in eine ebene Spirale von 14 Windungen gelegt war (die kleine Inductionsscheibe). Der Nebenbogen bestand aus der zweiten Inductionsscheibe, die der ersten, ihr gleichen, in 1 Linie Entfernung gegenüber stand; das eine Drathende der Scheibe war durch einen 29 Zoll langen Kupferdrath, den in der Kugel des Thermometers eingeschlossenen Platindrath (Länge 115 Linien, rad. 0,0185 Lin.) und einen 67 Zoll langen, $^1/_2$ Linie dicken Kupferdrath mit dem Innern der Condensatorflaschen verbunden; von dem andern Ende der Scheibe führte ein 44 Zoll langer Kupferdrath zu der äussern Belegung dieser Flaschen. In dieser Anordnung war der Nebenbogen durch die Condensatorflaschen unterbrochen; sollte er voll angewendet werden, so wurden die Drathenden von den Belegungen der Condensatorflaschen gelöst und mit einander verbunden. In dem Folgenden sind die, für Einheit der Ladung aus drei Beobachtungen abgeleiteten Werthe der Erwärmung im Nebenbogen angegeben, also die Werthe von a in der Formel $\Theta = a\,\frac{q^2}{s}$, wo s die Anzahl der Batterieflaschen, q die zu ihrer Ladung gebrauchte Elektricitätsmenge bezeichnet. — Es wurden zuvörderst 4 Batterieflaschen benutzt.

Condensatorflaschen d. Nebenbog.	0	1	2	3	4	5
Erwärmung im Nebenbogen	0,69	0,19	0,37	0,56	0,77	0,89

Die Erwärmung, die bei vollem Nebenbogen 0,69 beträgt, steigt bei dem durch 4 und 5 Flaschen unterbrochenen Bogen auf 0,77 und 0,89; die Wirkung des Nebenstromes ist hier also im unterbrochenen Bogen stärker, als im vollen; aber darum ist es der Nebenstrom nicht. Bei metallisch geschlossenem Nebenbogen geht der Nebenstrom nur Einmal durch das Thermometer, bei unterbrochenem aber

zweimal, und zwar findet er bei dem zweiten Durchgange im Thermometer einen bereits erwärmten, also schlechter leitenden Drath, den er stärker erwärmt. Stärker, als er bei vollem Nebenbogen ist, kann der Nebenstrom im unterbrochenen Bogen nicht werden, aber er nimmt mit der Zahl der Condensatorflaschen unbedingt zu, so lange er nicht den Werth erreicht hat, den er bei voller Nebenschliessung besass. Das Gesetz dieser Zunahme ist nicht allgemein anzugeben, so einfach auch in den mitgetheilten Versuchen die Zunahme der doppelten Wirkung dieses Stromes erscheint. Man sieht nämlich, dass die Erwärmungen nahe im Verhältnisse der benutzten Zahl der Condensatorflaschen stehn. Dass diese Einfachheit der Zunahme nur in einem speciellen Falle statt findet, der durch die zufällige Wahl der constanten Batterie und der Fläche einer Condensatorflasche eingetreten ist, zeigt sich, wenn man die Versuche mit einer kleineren oder grösseren Batterie wiederholt.

Zahl der Condensatorflaschen	1	2	3	4	5
der Batterieflaschen	Erwärmung im Nebenbogen				
2	0,42	0,76	1,01	1,04	1,04
3	0,25	0,50	0,78	0,94	0,99
5	0,14	0,29	0,50	0,69	0,77
7		0,20	0,35	0,46	0,62

Die Erwärmungen entfernen sich in jeder Reihe von dem Verhältnisse der benutzten Condensatorflaschen, am stärksten bei der aus zwei Flaschen bestehenden Batterie, wo die Erwärmung statt von 1 bis 5, von 1 bis 2,5, und bei der Batterie aus sieben Flaschen, wo die Erwärmung statt von 1 bis 2,5 von 1 bis 3,1 steigt. Aus dieser Veränderlichkeit der Zunahme folgt die merkwürdige Eigenschaft des Nebenstroms im unterbrochenen Bogen, dass dieser Strom abhängig ist von der Grösse der benutzten Condensatorfläche im Verhältnisse zu der benutzten Batteriefläche. Dies erscheint einfacher und deutlicher, wenn man die Erwärmungen vergleicht, die bei constanter Zahl der Condensatorflaschen

beobachtet wurden. So hat man bei Anwendung von drei Condensatorflaschen:

Zahl der Batterieflaschen	2	3	4	5	7
Erwärmung im Nebenbogen	1,01	0,78	0,56	0,50	0,35

(Da diese Werthe, wie alle früher mitgetheilten, für die Einheit der Ladung gelten, so ist die gesetzliche Abnahme der Erwärmung mit Vermehrung der Batterieflaschen aus ihnen eliminirt. Die beobachteten Erwärmungen nehmen schneller ab, als die hier berechneten, nämlich in den Verhältnissen $\frac{1,01}{2}$ zu $\frac{0,78}{3}$ zu $\frac{0,56}{4}$ u. s. w.) Die Erwärmungen, die mit Vermehrung der Batterieflaschen bedeutend abnehmen, sind von zwei Strömen hervorgebracht: dem Nebenstrome, der in die Condensatorflaschen tritt, und dem Strome, mit dem diese Flaschen entladen werden. Die Dichtigkeit des zweiten Stromes ist bei diesen Versuchen constant, weil die Condensatorflaschen ungeändert bleiben, und es kann die beobachtete Abnahme der Erwärmung nur von einer Abnahme des erregten Nebenstromes selbst herrühren. Bei voller Nebenschliessung ist der Nebenstrom, so lange Haupt- und Nebenbogen ungeändert bleiben, dem Hauptstrome proportional, so dass, wenn der Hauptstrom in allen Versuchen für Einheit der Ladung berechnet wird, der Nebenstrom einen constanten Werth erhält. Dagegen hatte eine Aenderung des Hauptbogens auf den Nebenstrom nicht immer denselben Einfluss, den diese Aenderung auf den Hauptstrom äussert, so dass also der Nebenstrom abhing von der Beschaffenheit der Nebenschliessung im Verhältnisse zu der der Hauptschliessung. In dem unterbrochenen Nebenbogen hängt der Nebenstrom noch ausserdem von der Grösse der unterbrechenden Condensatorfläche im Verhältnisse zu der geladenen Batteriefläche ab, so dass hierbei der ganze Schliessungskreis, sowol des Haupt- wie des Nebenstromes, in Betracht kommt. Es wird Dies erklärlich durch die Wirkung der Partialentladungen des Nebenstromes auf die Partialentladungen des Hauptstromes, und durch eine Rückwirkung der letzteren auf den Nebenstrom Bei den hierdurch sehr

verwickelten Bedingungen, von welchen die Stärke des Nebenstroms im unterbrochenen Bogen abhängt, kann das Resultat der Versuche nur im Allgemeinen angegeben werden. Der Nebenstrom im unterbrochenen Bogen ändert sich in gleichem Sinne mit dem Verhältnisse der, zur Unterbrechung benutzten, Condensatorfläche zu der geladenen Fläche der Batterie.

Wirkung des unterbrochenen Nebenstromes auf den Hauptstrom. Die Wirkung des Nebenstroms in einem vollen Bogen auf den Hauptstrom besteht in einer Schwächung, die dieser Strom erfährt, und deren Grösse durch die Beschaffenheit der Nebenschliessung in Bezug zu der der Hauptschliessung bestimmt wird. Bleiben Haupt- und Nebenschliessung ungeändert, so hängt die Schwächung des Hauptstroms von der Elektricitätsmenge ab, die im Nebenstrome in Bewegung gesetzt wird. Diese Elektricitätsmenge, auf die Einheit der Ladung der Batterie bezogen, konnte nur durch Aenderung des Theiles der Nebenschliessung geändert werden, der von der Hauptschliessung erregt wird, wodurch zugleich ein veränderlicher Theil der constanten Nebenschliessung zur Wirkung auf die Hauptschliessung gebracht wurde. In dem durch Condensatorflaschen unterbrochenen Nebenbogen ist dieser Versuch einfacher anzustellen. Man kann nämlich, wie wir gesehen haben, ohne den erregten Theil des Nebenbogens zu ändern, den Nebenstrom verstärken durch Vermehrung der eingeschalteten Condensatorflaschen, und mit dieser Vermehrung sieht man in der That den Hauptstrom immer schwächer werden. Es wurde der im vorigen Abschnitte gebrauchte Apparat angewendet. In der Hauptschliessung befand sich ein 96,7 Linien langer Platindrath (rad. 0,0286 Lin.), dessen Erwärmung hier beobachtet wurde, und die Kupferspirale der kleinen Inductionsscheibe; in der Nebenschliessung stand die zweite Inductionsscheibe und ein Platindrath von 115 Lin. Länge, 0,0186 Lin. Radius. Der Hauptstrom wurde zuerst für die Einheit der Ladung bestimmt, ehe die Nebenspirale geschlossen war, dann mit unterbrochener Schliessung und

verschiedener Anzahl der Condensatorflaschen. Es wurden drei Batterieflaschen gebraucht; der Hauptstrom ohne Nebenschliessung hatte den Werth 0,43.

Nebenbogen mit Condensatorflaschen	1	2	3	4	5
Werth des Hauptstromes	0,37	0,29	0,22	0,16	0,15

Der Hauptstrom ist dadurch, dass ein Nebenstrom in einem unterbrochenen Nebenbogen auf ihn wirkte, von 0,43 bis 0,15 (im Verhältnisse 100 : 35) geschwächt worden, und zwar nahm die Schwächung mit der Zahl der Condensatorflaschen zu. Mit dieser Vermehrung der Flaschen ist, wie oben gezeigt wurde, der Nebenstrom verstärkt worden; die Entladung der Condensatorflaschen müsste, ihrer entgegengesetzten Richtung wegen, die Wirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom aufheben; da sie aber erst nach der Entladung der Batterie eintritt, so findet sie im Hauptdrathe keinen Strom vor, und kann keinen Einfluss auf den Hauptstrom gewinnen. Wirkt demnach von den beiden vorhandenen Strömen allein der unmittelbar erregte Nebenstrom, so muss durch ihn dieselbe Schwächung des Hauptstromes erreicht werden können, die der im vollen Bogen erregte Nebenstrom hervorbringt. Nicht allein, dass Dies ausgeführt werden kann, so kann man sogar den Hauptstrom durch den unterbrochenen Bogen in höherem Maasse schwächen, als es vor der Unterbrechung geschah. Als in der mitgetheilten Versuchsreihe der Nebenbogen metallisch geschlossen wurde, durch Verbindung der an den Belegungen der Condensatorflaschen anliegenden Drathenden, erhielt ich für den Hauptstrom den Werth 0,25, während er durch Unterbrechung des Bogens durch 5 Condensatorflaschen auf 0,15 hinabgedrückt worden war. Um die Folgerung aus diesem Versuche einzusehn, hat man sich zu erinnern, dass die Wirkung des Nebenstroms auf den Hauptstrom an die Bedingung geknüpft ist, dass der von jeder Partialentladung der Batterie erregte Nebenstrom bei dem Eintritte der folgenden Partialentladung noch fortbesteht. Verschwindet der Nebenstrom zu schnell, um diese Bedingung zu erfül-

len, so ist die Stärke des Nebenstromes gleichgültig in Bezug auf seine Wirkung auf den Hauptstrom. Es wurde deshalb, wenn der vollkommen geschlossene Nebenbogen zu gut leitete, in denselben ein schlechtleitender Drath eingeschaltet, der Gang des Nebenstromes verzögert, und dadurch die beabsichtigte Wirkung auf den Hauptstrom hervorgebracht. Ebenso wird aber, wie man aus dem letzten Versuche schliessen muss, der Nebenstrom verzögert durch Einschaltung von Condensatorflaschen in seine Schliessung, so dass von zwei, nach Elektricitätsmenge und Dichtigkeit, gleichen Nebenströmen, der Strom im unterbrochenen Bogen auf den Hauptstrom eine stärkere Wirkung äussert, als der im vollen Bogen, weil der erste in seinem Gange verzögert ist. Diese Verzögerung durch Einschaltung von Condensatorflaschen in den Bogen lässt sich sehr auffällig nachweisen. Es wurde aus dem in diesem Abschnitte gebrauchten Nebenbogen der dünne Platindrath entfernt, so dass der Nebenbogen nur Kupferdrath enthielt. Bei Anwendung von 3 Batterieflaschen wurden folgende Werthe des Hauptstromes erhalten.

	Ohne	Mit voller	Mit unterbr.		
Haupt-	Nebenschl.	Nebenschl.	u. Condensatorfl. 1	3	5
strom.	0,43	0,42	0,40	0,38	0,36

Der Nebenstrom im vollen Nebenbogen hatte keinen merklichen Einfluss auf den Hauptstrom, aber schon bei Einschaltung von Einer Condensatorflasche wird der Einfluss deutlich, der nur durch Verzögerung des Nebenstroms hervorgebracht sein konnte, da die Elektricitätsmenge desselben unbezweifelt kleiner war, als die im vollen Bogen. Der Einfluss steigt bei 3 und 5 Condensatorflaschen durch Vergrösserung der Elektricitätsmenge des Nebenstroms. Die grösste Schwächung des Hauptstroms findet hier im Verhältnisse 100 zu 84 statt, während sie früher, als der Platindrath sich in der Nebenschliessung befand, 100 zu 35 betrug; ein Beweis, dass hier, wie im vollen Bogen, die Beschaffenheit der Drathleitung des Nebenstroms zum grössten

Theile die Wirkung dieses Stromes auf den Hauptstrom bestimmt. Das Resultat der angestellten Versuche lässt sich so aussprechen: Der Hauptstrom der Batterie wird durch einen, von ihm in einem unterbrochenen Nebenbogen erregten, Nebenstrom geschwächt. Der kleinste Werth, den der Hauptstrom in dieser Weise erlangen kann, wird bei constanter Hauptschliessung durch den Verzögerungswerth des Nebenbogens bestimmt und durch die Grösse der Batterie und des Condensators. Der Hauptstrom, für die Einheit der Ladung berechnet, ändert sich im gleichen Sinne mit dem Verhältnisse der angewandten Batteriefläche zu der, in den Nebenbogen eingeschalteten, Condensatorfläche.

Nach dem letzten Satze nimmt der Hauptstrom ab, wenn bei constanter Batterie die Zahl der Condensatorflaschen vermehrt wird, und er nimmt zu, wenn man bei constanter Zahl der Condensatorflaschen mehr und mehr Batterieflaschen anwendet. In so einfacher Weise lässt sich aber der Satz nur aussprechen, wenn man den Hauptstrom stets bei der (willkührlich gewählten) Einheit der Ladung beobachtet, oder ihn darauf reducirt. Bei Aenderung der Batterieflaschen kann der Strom nicht bei Einheit der Ladung beobachtet werden, da man zwar die Elektricitätsmenge, nicht aber zugleich die Dichtigkeit in der Batterie constant erhalten kann. Misst man den Hauptstrom ohne vorhandenen Nebenstrom bei zunehmender Zahl der Batterieflaschen, so findet man ihn bekanntlich abnehmend im umgekehrten Verhältnisse der Flaschen. Der Nebenstrom im unterbrochenen Bogen schwächt den Hauptstrom desto weniger, je mehr Batterieflaschen man anwendet; man wird also bei vorhandenem Nebenstrome den Hauptstrom in geringerem Verhältnisse abnehmen sehn, als in dem die Batterieflaschen zunehmen. Da die Grösse der Schwächung bei Vermehrung der Batterieflaschen verschieden ist nach der Beschaffenheit der Haupt- und Nebenschliessung und der Grösse der eingeschalteten Condensatorfläche, so kann man es durch die Einrichtung des Apparats dahin bringen, dass die beobachteten Hauptströme bei einer beschränkten Versuchsreihe merklich con-

stant bleiben. Es wurde die in diesem Abschnitte zu Anfange benutzte Haupt- und Nebenschliessung angewendet, und die letztere durch 4 Condensatorflaschen unterbrochen. Als ich die Batterie stets mit derselben Elektricitätsmenge lud, erhielt ich am Thermometer in der Hauptschliessung die folgenden Erwärmungen:

Zahl der Batterieflaschen	2	3	4	5	6	7
beob. Erwärm. d. Hauptschl.	11	10,2	10	10,8	10,6	10 Lin.

Hier hat also eine bestimmte Elektricitätsmenge in einem Drathe, der die Batterie entlud, nahe dieselbe Erwärmung hervorgebracht, jene Menge mochte auf 2 bis 7 Batterieflaschen angehäuft gewesen sein. Dies Resultat eines speciellen Versuchs, obgleich in Nichts auffallender, als die früheren Resultate, aus welchen es unmittelbar folgt, ist in einer Beziehung interessant. Als ich vor langer Zeit die elektrische Erwärmung znm Gegenstande der Untersuchung nahm, galt der Satz, dass die Wirkung der bewegten Elektricität unabhängig sei von der Dichtigkeit, welche die Elektricität vor der Bewegung besessen hatte, dass namentlich eine bestimmte Elektricitätsmenge bei ihrer Entladung einen Drath um gleichviel erwärme, wie gross auch die Fläche gewesen, auf der sie angehäuft war. Es wurde mir leicht, diese Annahme als falsch und die Abhängigkeit der Erwärmung von der elektrischen Dichtigkeit aufzuzeigen, aber es kam in der grossen Menge meiner vielfach abgeänderten Versuche kein Fall vor, der mit jener falschen Annahme auch nur im Entferntesten überein gestimmt hätte. Hier ist ein solcher Fall und damit eines jener Beispiele gegeben, welche in der Elektricitätslehre häufiger sind, als in andern Disciplinen, dass ein scheinbar einfacher Versuch höchst verwickelt, und das einfache Ergebniss desselben durch das Zusammenwirken der verschiedensten Ursachen herbeigeführt sein kann. Es gereicht der Elektricitätslehre zu grossem Nachtheile, dass es sehr leicht ist, elektrische Versuche, und sehr schwer, einfache elektrische Versuche anzustellen.

Viertes Kapitel.

Die elektrischen Zeichnungen.

Ueber die elektrischen Ringfiguren.*

(Zu §. 774.)

In einer der Akademie im Jahre 1846 mitgetheilten Abhandlung habe ich acht Arten von elektrischen Zeichnungen aufgeführt, unter welchen nur Eine Art genannt werden konnte, die verschieden geformt erscheint, je nachdem sie durch positive oder negative Elektricität gebildet wird. Es sind Dies die, zuerst von Lichtenberg 1777 dargestellten, Staubfiguren, welche eben durch diese Formverschiedenheit die bei Weitem bekanntesten aller elektrischen Zeichnungen geworden sind. Führt man einer isolirenden Platte einen elektrischen Funken zu, so verbreitet sich die Elektricität auf der Platte in einer bestimmten, durch aufgestreuten Staub erkennbaren Form, die völlig verschieden ist, je nachdem die zugeführte Elektricität positiver oder negativer Art war. Oder setzt man normal gegen die beiden Flächen einer isolirenden Platte in gerader Linie zwei Dräthe, von welchen der eine isolirt, der andere zur Erde abgeleitet ist, und theilt man dem isolirten Drathe Elektricität einer Art mit, die mit einem Funken auf die eine Oberfläche der Platte übergeht, so geht Elektricität derselben Art von der zweiten Oberfläche zum abgeleiteten Drathe, und die beiden Flächen zeigen die entgegengesetzten Staubfiguren. In dieser belehrendsten Form zeigt der Versuch, dass der elektrische Strom, je nachdem er in eine isolirende Platte eintritt, oder aus derselben austritt, die eine und die andere Staubfigur bildet, und ich habe nachgewiesen, dass Dies nur dann geschieht, wenn der Strom

* Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. 1861.

in der Nähe der Platte discontinuirlich ist, das heisst mit Funken sich fortpflanzt. Der elektrische Strom ist hier in den beiden Dräthen getrennt vorhanden, und die ihn bildenden beiden Elektricitäten gleichen sich nicht aus, sondern kommen auf den entgegenstehenden Flächen der isolirenden Platte zur Ruhe. Eine Ausgleichung der Elektricitäten erhält man, wenn statt der isolirenden Platte eine Metallplatte zwischen die beiden Dräthe gestellt wird, und dann ist es, wie man sogleich sieht, unnöthig, dass die Enden der Dräthe einander gegenüberstehn, sie können über beliebige Stellen der Oberflächen, oder, was am bequemsten ist, über verschiedene Stellen einer und derselben Oberfläche der Platte gebracht werden. In allen Fällen geht dann der positive Strom mit einem Funken von dem einen Drathe zur Platte, und von der Platte zum andern Drathe über, die beiden berührten Stellen der Platte befinden sich also in Bezug auf den Strom in entgegengesetzter Lage, gerade so, wie sich die beiden Flächen der isolirenden Platte bei der Bildung der Staubfiguren befanden. Staubfiguren können sich aber, ihrer Natur nach, auf der Metallplatte nicht bilden, es entstehen andere Arten von Figuren. Nach einmaligem oder öfterem Uebergange des Stromes ist jede der beiden Stellen der (polirten) Platte unter den Drathspitzen dadurch gekennzeichnet, dass durch Behauchung eine helle Scheibe auf getrübtem Grunde entsteht (Hauchfiguren). Ist der Strom eine gewisse, nach dem Metalle der Platte verschiedene, Anzahl von Malen übergegangen, so sind die Uebergangsstellen dauernd sichtbar; sie zeigen eine dunkle Scheibe, die von mehr oder weniger gefärbten Ringen umgeben ist. Dies sind die unter dem Namen der Priestley'schen Ringe seit 1768 bekannten Figuren, von denen bisher ausgesagt worden ist, dass sie von der Richtung des sie bildenden Funkenstroms unabhängig sind. Und in der That sind bei der gebräuchlichen Art, den Versuch anzustellen, die bei verschiedener Richtung des Stromes gebildeten Priestley'schen Ringe einander sehr ähnlich, da ihre wesentliche Verschiedenheit häufig geringer ist, als ihre

schwer zu vermeidenden zufälligen Ungleichheiten. Bei einer Aenderung des Versuchs habe ich eine auffallende Verschiedenheit der Ringfiguren verschiedenen Namens gefunden, und habe diese Verschiedenheit grösser machen können, als sie bei den ungleichnamigen Staubfiguren jemals beobachtet worden ist[1]). Dadurch dürfte sich das Interesse, das bisher allein den Staubfiguren zugewendet war, auch auf die Ringfiguren erstrecken, ja vielleicht in erhöhtem Maasse, da die letzteren ein Gebilde des vollständigen, nicht des unterbrochenen elektrischen Stromes sind. Ehe ich zur Beschreibung meiner Versuche gehe, will ich eine historische Notiz über den Gegenstand geben, in grösserer Ausführlichkeit, als ich es in meinem Lehrbuche gethan habe.

Historische Einleitung.

In der ersten Ausgabe seiner Geschichte der Elektricität (London 1767 p. 659) beschreibt Priestley Versuche über die runden Flecke, die durch starke elektrische Entladungen auf Metallflächen hervorgebracht werden. Als eine Batterie von 40 Quadratfuss belegten Glases durch einen Messingknopf entladen war, zeigte dieser einen breiten runden Fleck, der von einem schwarzen abwischbaren Staube umgeben war. Um diesen Staubkranz war ein vollkommener, mit dem Flecke concentrischer Kreis sichtbar, in welchem das Metall oberflächlich geschmolzen schien. Dieser von einem Ringe umgebene Fleck wurde auf verschiedenen Metallen dargestellt, wobei die Verletzung des Metalles am grössten bei Zinn, am geringsten bei Silber war. Auf Zinn wurden zwei Ringe erhalten, und zwar war der äussere Ring von dem innern ebensoweit entfernt, wie dieser von der Centralscheibe. Auf der leicht schmelzbaren Metalllegirung entstanden drei concentrische Ringe. Als die Entladung der Batterie zwischen zwei Uhrgehäusen statt fand, hatten die Ringe auf beiden nahe denselben Durchmesser; eine Ungleichheit derselben wird für zufällig erklärt, und

---

1) Monatsber. der Akad. Klassensitzung 22. Oct. 1860.

es wird bestimmt ausgesprochen, dass die Form der Ringe weder von dem angewandten Metalle, noch von der Richtung der Entladung abhange. In verdünnter Luft konnten die Ringe nicht erhalten werden, in verdichteter waren sie von geringerem Durchmesser und weniger deutlich als in freier Luft. Von einer Wiederholung der Entladung und Färbung der Figur ist nicht die Rede; eine Erklärung ihrer Entstehung wird zögernd versucht. Es scheine, als ob die Elektricität in Form von hohlen concentrischen Cylindern sich fortpflanze und hierzu werden als Belege angeführt: Das Ansehn leydener Flaschen, die durch eine Entladung durchbohrt wurden; ein Blitzschlag, der von fünf in einer Reihe gehenden Bauern den ersten, dritten und fünften tödtete; die sogenannten Elfenringe auf Wiesen, grosse Kreise, in welchen das Gras saftiger und dunkler gefärbt ist, als umher.

Die zweite, bekannter gewordene Abhandlung Priestley's wurde 1768 in der *royal society* gelesen[1]) und führt den Titel: Ueber Ringe in allen prismatischen Farben, die durch elektrische Entladungen auf Metallflächen gebildet werden. Eine Metallnadel wurde über eine Metallplatte gestellt und die Entladung einer Batterie von 21 Quadratfuss belegten Glases wiederholt hindurch geleitet. Nach 4 bis 5 Schlägen war auf der Platte um den Fusspunkt der Nadel, der stets eine Schmelzung zeigte, ein kreisrunder Gürtel sichtbar. und um diesen bei fortgesetzter Entladung ein zweiter Gürtel, beide nur bei schiefer Beleuchtung zu erkennen. Diese Gürtel füllten sich mit farbigen Ringen, und nach 30 bis 40 Entladungen waren gewöhnlich drei bestimmte Ringsysteme zu unterscheiden. Die Ringe waren desto enger, je vollkommener die Nadelspitze war und je näher sie der Metallfläche stand. Die Ringe wurden auf Gold, Silber, Kupfer, Messing, Eisen, Blei und Zinn dargestellt. Sie waren genau gleich, die Spitze oder Platte mochte mit dem Innern der stets mit derselben Elektrici-

---

1) Philos. transact. f. 1768. — abridged by Hutton etc.* 12. 510.

tätsart geladenen Batterie verbunden sein. Wurde die Nadel gegen die Platte geneigt, so blieb zwar der Fleck um den Fusspunkt der Nadelspitze rund, die Farbenringe aber waren in einer länglichen Figur gegen die Aussenseite der Nadel gerückt. Die Farben werden aus dem optischen Verhalten dünner Blättchen erklärt und mit der Färbung des Stahls bei Erhitzung zusammengestellt.

Van Marum[1]) versuchte vergebens, die Priestley-schen Ringe zu erhalten und glaubte, dass sehr grosse Batterien dazu nicht tauglich sind. Seine Batterie hatte eine Belegung von 225 Quadratfuss.

Nobili[2]) stellte die Ringe 1827 dar und gab von ihnen eine genauere Beschreibung. Eine Drathspitze wurde über eine Metallplatte gebracht, eine halbe Linie von ihr entfernt, und eine Batterie von 14 Quadratfuss Belegung 30mal durch Drath und Platte entladen. Danach war jede der vier angewandten Metallplatten, die Drathspitze mochte positive oder negative Elektrode gewesen sein, in einer Kreisfläche von etwa 3 Linien Durchmesser gefärbt, deren Mittelpunkt vertieft und körnig erschien, wie von einer erlittenen Schmelzung. Die farbigen Ringe, welche den Mittelpunkt umgaben, waren scharf und prismatisch gefärbt auf Kupfer, weniger gut auf Stahl, sehr matt auf Silber und Platin. Obgleich die Zahl der Entladungen auf 40 gesteigert wurde, so erschien nur Ein Ringsystem und die körnigen Kreise mit Spuren von Schmelzung, welche den Centralfleck umgeben sollten, wurden nicht bemerkt, was der Kleinheit der Batterie zugeschrieben wird. Nobili leitet, was Priestley angedeutet hatte, die Entstehung der Ringe von der Erhitzung her, welche die Metallplatte durch die Entladung erfährt und die, an der positiven und negativen Elektrode gleich gross, an beiden Stellen die gleiche Figur erzeuge. Er bringt die zweckmässige Einrichtung in Vorschlag, die Platte gleichzeitig zur positiven und negativen

1) Beschreibung einer grossen Elektrisirmaschine. Zweite Fortsetzung. 1798*. 59.

2) Memorie ed istrumenti. Firenze 1834*. 1. 50.

Elektrode zu machen durch Anbringung von zwei Nadeln über der Platte, welche die Entladung vermitteln.

Wenn im Vorhergehenden nur durch Condensation verstärkte Elektricität angewendet wurde, und zwar sollte die dabei benutzte Batterie weder zu gross, noch zu klein sein, so stellte Matteucci 1843[1]) die Ringe durch den einfachen Funken einer Elektrisirmaschine dar, an deren Conductor ein Stift aus Messing, Platin, Silber, Kupfer oder Kohle befestigt war. Wurde dem Ende dieses Stiftes, während des Spiels der Maschine die Silberfläche einer Daguerreotyp-Platte entgegengehalten, so erschien darauf sehr bald ein kreisrunder schwärzlicher Fleck, der durch fortdauernde Funken in der Mitte weiss und mit prismatischen Farben, durch die Lupe erkennbaren, gesäumt wurde. In verdünnter Luft, bei 14 Millimeter Quecksilberdruck, wie in verdünntem Kohlensäure- und Stickgase soll der Fleck gleichfalls entstanden sein.

Die Bildung der elektrischen Ringe in verdünnten Gasen ist sorgfältig erst von Grove 1852 studirt worden[2]) in einer Untersuchung der elektro-chemischen Polarität der Gase. Die Glocke einer Luftpumpe wurde mit 1 Volumen Wasserstoffgas und 2 Volumen atmosphärischer Luft gefüllt und das Gemenge bis zu einem Quecksilberdrucke von 6 bis 9 Linien verdünnt. In der Glocke befand sich eine Daguerreotyp-Platte und $^1/_{10}$ Zoll über ihrer Silberfläche die Spitze einer Stahlnadel. Die Platte wurde mit dem Conductor einer sehr wirksamen Elektrisirmaschine, die Nadel mit der Erde verbunden, oder umgekehrt, so dass die Platte positive oder negative Elektrode des Funkenstromes wurde, der durch Drehen der Maschine entstand. War die Platte positiv, so erschien auf ihr unter der Nadelspitze ein Oxydationsfleck, und dieser wurde in geringem Maasse reducirt, wenn die Platte negativ gemacht wurde. Diese reducirende Wirkung war, selbst nach langem Spiele der Maschine, sehr

1) Compt. rend. de l'acad. de Paris 16. 850. Poggend. Annal.* 60. 159.

2) Philosoph. transact. f. 1852.* 87.

gering und der Verfasser zweifelt, dass er sie würde bemerkt haben, wenn er nicht früher die Versuche angestellt hätte, die den übrigen Theil der Abhandlung füllen. Bei diesen wurde statt der Elektrisirmaschine ein elektro-magnetischer Inductionsapparat benutzt, zur Hervorbringung eines Funkenstromes zwischen Nadel und Platte. Als verdünnte Luft, bei einem Drucke von 6 bis 9 Linien, in der Glocke und die Platte positive Elektrode war, entstand auf der Silberplatte ein kleiner runder Fleck, schnell sich schwärzend, der die Platte angriff; wenn sie negativ war, ein breiter verwaschener Fleck, in dem die Oxydirung langsamer fortschritt. War aber zu der Luft ein gleiches Volumen Wasserstoffgas hinzugemengt, so entstand nach der Verdünnung, wenn die Platte positiv war, durch den Funkenstrom ein dunkler Oxydfleck, der gelb, orange und blau gefärbt war. Wurden jetzt die Pole des Apparats umgekehrt und die Platte dadurch negativ, so verschwanden die Farben des Fleckes völlig, und es blieb nur eine dunkle polirte Stelle zurück, in der das Silber aufgelockert erschien. War die Luft in der Glocke im Ueberschuss, so entstand der Oxydfleck bei beiden Zuständen der Platte, war es das Wasserstoffgas, bei keinem. Wenn nur Wasserstoff von der angegebenen Verdünnung gebraucht wurde, so entstand kein Fleck, selbst nach langer Zeit, sondern nur die Auflockerung des Silbers, aber ein früher gebildeter Oxydfleck verschwand, die Platte mochte positive oder negative Elektrode sein. Eine gleiche Wirkung, wie Luft mit Wasserstoff, nur nicht so schnell, äusserte ein verdünntes Gemisch von Stickgas mit wenig Luft. In verdünntem Stickgase allein entstand kein Fleck, aber ein früher gebildeter verschwand, wenn die Platte negativ war, obgleich nicht so schnell und vollkommen, wie in Wasserstoffgas. Ein Gemenge von 1 Volumen Sauerstoff und 2 Volumen Wasserstoffgas zeigte Dasselbe wie atmosphärische Luft und Wasserstoff, nur wie es schien in geringerem Grade, 1 Volumen Sauerstoff und 3 Volumen Wasserstoffgas gaben ein sehr wirksames Gemenge. Als die durch Jodirung tief blau gefärbte Platte

in verdünntem Wasserstoffgas negativ gemacht war, verschwand die Färbung unter der Nadel. Die durch Oxydation entstandenen Flecke der Platte konnten durch unterschwefligsaures Natron entfernt werden. Das Metall der Nadel zeigte keinen wesentlichen Einfluss auf die Erscheinung, wohl aber das der Platte. Wismuth verhielt sich fast ganz so, wie Silber, in einem verdünnten Gemenge aus Luft und Wasserstoffgas wurde es oxydirt und das oxydirte reducirt, je nachdem es positive oder negative Elektrode war. Blei wurde leicht oxydirt, der Fleck konnte aber nur schwer reducirt werden. Zinn, Zink und Kupfer wurden nur oxydirt, wenn viel Luft in der Glocke war, und der Fleck auf ihnen konnte nur in geringem Grade reducirt werden. Eisen verlangte zur Oxydirung noch mehr atmosphärische Luft und hier gelang die Reduction nicht. Platin wurde nicht oxydirt.

In ein Gemenge von 1 Volumen Sauerstoff und 4 Volumen Wasserstoffgas, wie früher verdünnt, wurde eine Silberplatte und über sie, in 0,02 bis 0,06 Zoll Entfernung, die Spitze einer Stahlnadel gebracht. War die Platte durch den Inductionsapparat positiv, so entstand durch den Funkenstrom ein runder grünlicher Fleck, der mit einem hellen Ringe von polirtem Silber gesäumt war, auf welchen ein nach innen rother, nach aussen tief violetter Ring folgte. War hingegen die Platte negativ, so entstand unter der Nadelspitze ein Fleck polirten Silbers, umgeben von einem schwärzlichen schlecht begränzten Kranze, je nach der Beleuchtung braun oder grünlichweiss erscheinend. In einem andern Versuche wurden zuerst in verdünnter Luft zwei dunkelgelbe Flecke auf der Silberplatte gebildet, und darauf die Glocke mit 1 Volumen Sauerstoff und 4 Volumen Wasserstoffgas gefüllt und exantlirt. Als die Nadelspitze über jeden der beiden Flecke gebracht und die Platte positiv elektrisch gemacht war, brachte der Funkenstrom in beiden Flecken eine Ringfigur mit polirtem Ringe hervor. Die von Grove aus diesen merkwürdigen Versuchen gezogenen Folgerungen werde ich im dritten Abschnitte zu erwähnen haben.

Positive und negative Ringfiguren.

Die beiden Kugeln einer Funkenflasche, die an einer Batterie als Maassflasche dient, werden an den Uebergangsstellen der Funken mit Priestley'schen Ringen bedeckt. Mit der vollständigen Ausbildung dieser Ringe ist eine merkliche Vergrösserung der Elektricitätsmenge verbunden, welche die Entladung der Flasche bewirkt, so dass man gezwungen ist, andere Stellen der Kugeln zur Entladung zu benutzen, und wenn alle brauchbaren Stellen verwendet sind, die Kugeln zu poliren. Hierbei hatte ich häufig die gebildeten Figuren beobachtet, aber keinen wesentlichen Unterschied zwischen den Figuren der einen und andern Kugel bemerkt, wenn auch die Flasche stets mit positiver Elektricität geladen gewesen war. Die Figuren bestanden auf jeder (Kupfer-) Kugel aus einer schwarzen, etwa 1 Millim. breiten Scheibe, von einem polirten Gürtel umgeben, der mit einem gefärbten, gewöhnlich braunen Kreise gesäumt war. Aber beim Poliren zeigte sich eine merkliche Verschiedenheit. Während die äussere, mit der äussern Belegung der Flasche verbundene, Kugel mit Oel und einem Putzpulver zu reinigen war, gelang Dies an der innern Kugel durchaus nicht. Es blieben nach angestrengtem Reiben die Stellen der dunkeln Scheiben sichtbar, und ich musste die Kugel abdrehen lassen, um sie in den Zustand vor ihrem Gebrauche zu bringen. Die Ursache dieser verschiedenen Tiefe der Figuren vermuthete ich in dem dünnen, 3½ Fuss langen Platindrathe, der die äussere Kugel mit der äussern Belegung der Flasche verband (Elektricitätslehre §. 386) und stellte die folgenden Versuche an.

§. 1.

Eine Funkenflasche von ½ Quadratfuss Belegung wurde mit zwei hellpolirten Messingkugeln versehn, die eine halbe Linie von einander entfernt waren. Die Verbindung der äussern Kugel mit der äussern Belegung der Flasche wurde durch eine Säule destillirten Wassers bewirkt, die sich in

einer Glasröhre von $8^1/_4$ Zoll Länge und $3^3/_4$ Linien Weite befand. Die Flasche wurde durch eine Elektrisirmaschine mit positiver Elektricität geladen, bis sie sich etwa 500mal selbst entladen hatte. Auf der innern Kugel war an der Entladungsstelle eine sehr kleine schwarze Scheibe entstanden, die unter der Lupe völlig kreisrund, scharf begränzt und von einem polirten Ringe mit bräunlichem Saume eingefasst erschien. Auf der äussern Kugel zeigte sich ein blauer braungesäumter Kranz, der eine rundliche Fläche einschloss. Die Figuren sind hier und überall in der Folge in der Lage beschrieben, bei welcher das gespiegelte Licht des Himmels ihren Grund bildete.

Eine leydener Flasche von 2,6 Quadratfuss Belegung wurde mit der Elektricitätsmenge 15 geladen, zu deren Messung die Kugeln der Maassflasche $^1/_2$ Linie von einander entfernt wurden. Der Schliessungsbogen enthielt die eben erwähnte Wassersäule und in einer Lücke zwei verticale Stahlnadeln, deren Spitzen $^1/_{24}$ Linie über einer polirten Messingplatte standen. Der Entladungsstrom ging daher von der einen Nadel zur Platte und von der Platte zur andern Nadel mit einem Funken über. Nach 10 Entladungen waren auf der Platte zwei Figuren entstanden. Unter der positiven Elektrode (der Nadel, die mit der positiv elektrischen Belegung der Flasche verbunden war) erschien eine Ringfigur, die ich die *negative* nennen will. Sie bestand aus einem braungelben, nicht kreisrunden Kranze, der eine leere Fläche mit dunkelm Mittelpunkte einschloss. Unter der negativen Elektrode war eine *positive* Ringfigur entstanden, aus einer schwarzen völlig kreisrunden Scheibe bestehend und umgeben von einem schmalen polirten Ringe, der durch einen dunkeln Kreis von dem Grunde getrennt war[1]).

1) Die Stelle einer Platte, zu der positive Elektricität von einer Spitze durch die Luft übergeht, bildet die negative Elektrode, die Stelle der Platte, von welcher positive Elektricität zu einer Spitze geht, die positive Elektrode. Die gewählte Bezeichnung der Figuren ist hiermit gerechtfertigt, hat jedoch den Uebelstand, mit der bei den Staubfiguren gebräuchlichen im Widerspruche zu sein. Von den Staubfiguren heisst die unter einer positiv elektrischen Spitze gebildete die positive, die

Gegen die Endkugel des Conductors einer Elektrisirmaschine war ein verschiebbarer, mit einer Kugel endigender Messingstab (der Funkenstab) isolirt aufgestellt. Die Entfernung der beiden Kugeln von einander gibt die Länge der übergehenden Funken. Eine auf einem Glasstabe befestigte Metallklemme war mit einer verticalen isolirten Stahlnadel metallisch verbunden, der eine gleiche parallele, aber zur Erde vollkommen abgeleitete Nadel nahe stand. Die Ableitung dieser Nadel, wie die des Reibzeugs der Maschine geschah durch metallische Verbindung mit den Gasröhren des Hauses. Unter den Spitzen beider Nadeln, $^1/_4$ Linie von ihnen entfernt, lag isolirt eine polirte Messingplatte. Der Funkenstab wurde mit der isolirten Metallklemme durch einen 101 Fuss langen, 0,055 Linie dicken Platindrath verbunden. Bei positiver Elektrisirung des Conductors und einer Funkenlänge von $1^1/_2$ Linie brachten 100 Umdrehungen der Maschine die beiden Figuren auf der Messingplatte hervor. Unter der isolirten Nadel war als negative Ringfigur ein brauner runder Ring mit dunkelm Mittelpunkte entstanden, unter der abgeleiteten Nadel die positive Figur, eine schwarze Scheibe mit hellem Ringe. Als an die Stelle des langen Platindraths die Wassersäule gesetzt war, brachten 100 Umdrehungen der Maschine die negative Figur ebenso vollkommen, nur kleiner hervor als früher, als positive Figur eine scharf begränzte schwarze Scheibe, umgeben von einem polirten braun gesäumten Ringe.

§. 2.

In diesen Versuchen, so oft sie auch wiederholt wurden, waren die an beiden Elektroden gebildeten Figuren so auffallend und bestimmt von einander verschieden, dass eine Verwechselung derselben nicht möglich war. Ob Dies allein der Einschaltung des langen Drathes und der Wassersäule in den Stromleiter, oder auch der, im Verhältnisse zu der

---

unter der negativen Spitze die negative. Dies ist zu beachten, wenn man die Ringfiguren mit den Staubfiguren vergleichen will.

bisher gebräuchlichen, geringen Elektricitätsmenge zuzuschreiben sei, welche die Figuren bildete, sollten die folgenden Versuche ausmachen.

Der Funkenstab wurde dem Conductor der Elektrisirmaschine bis $^1/_2$ Zoll genähert und mit der einen Nadel durch einen kurzen Kupferdrath verbunden, während die andere Nadel zur Erde vollkommen abgeleitet war. Die Spitzen der Nadeln standen $^1/_2$ Linie über einer isolirten Messingplatte. Die auf der Platte durch eine Anzahl übergegangener Funken gebildeten Figuren wurden durch ein Mikroskop mit etwa 22facher Vergrösserung betrachtet, und mittels eines im Oculare befindlichen Glasmikrometers gemessen. Da der Conductor positiv elektrisirt wurde, so entstand die negative Ringfigur unter der isolirten, die positive unter der abgeleiteten Nadel. Bei der Beschreibung der Figuren ist es bequem, an ihnen drei Theile zu unterscheiden: die *Scheibe*, eine matte Kreisfläche, deren Mittelpunkt der Fusspunkt der funkengebenden Spitze ist; den gleichfalls matten *Saum*, welcher in gleicher Entfernung von der Scheibe diese umgibt; zwischen Scheibe und Saum den *Ringgürtel*, in welchem das Metall seine Politur behalten hat. Der Unterschied des innern Durchmessers des Saumes und des Durchmessers der Scheibe gibt die (doppelte) *Breite* des Gürtels. Wenn die Scheibe fehlt, so umschliesst der Saum eine blanke Fläche.

Es wurden fünf Figurenpaare gebildet durch 110, 220, 330, 440 und 880 Funken, die vom Conductor gezogen wurden. Alle Figuren, die positiven wie die negativen, zeigten dieselbe Form, eine braune Scheibe, ihr zunächst den blanken Ringgürtel von einem breiten gelben Saume umgeben. An den beiden ersten Figuren war der Saum erst nach einiger Zeit sichtbar, gleich nach dem Versuche nur durch Behauchung zu erkennen. Die durch eine grössere Anzahl von Funken gebildeten Figuren hatten schärfere Umrisse und tiefere Färbung, auch erschien bei ihnen am innern Rande des Gürtels, zunächst der Scheibe, ein gelber Ring. Die Figuren desselben Namens erschienen nahe gleich

gross, aber jede positive Figur entschieden kleiner als die ihr entsprechende negative Figur. Dies wurde durch die Messung bestätigt, die zuerst mit einiger Sicherheit an den beiden letzten Figurenpaaren ausgeführt werden konnte. Es mass der innere Durchmesser des Saumes

der posit. Figur 0,57, der Durchm. der Scheibe 0,26 par. Lin.,
„ negat. „ 0,66, „ „ „ „ 0,26 „ „

Der blanke Gürtel hatte daher an der positiven Figur eine Breite von 0,31, an der negativen von 0,40 Linie. Die Breite des Saumes konnte nicht gemessen werden, da sein äusserer Rand nicht scharf war, erschien aber bei beiden Figuren nahe gleich. Wir sehen also bei guter Leitung des Funkenstromes die positiven und negativen Figuren nur in der Grösse verschieden, und mit blossem Auge nur durch genaue Vergleichung zu erkennen. Von einer einzelnen Figur liess sich der Name nicht angeben.

Es wurde die isolirte Nadel, statt durch einen kurzen Metalldrath, durch die beschriebene Wassersäule mit dem Funkenstabe verbunden. Jetzt waren die durch eine verschiedene Funkenzahl gebildeten Figuren durchaus andere als vorher, nicht nur viel kleiner und schärfer begränzt, sondern auch gänzlich verschieden je nach der Elektrode, die sie gebildet hatte. Ich will sie einzeln beschreiben.

Nach 110 Funken. Positive Figur: Schwarze Scheibe mit hellem Centrum, 0,12 Lin. im Durchmesser, blauer Gürtel, gelber Saum. Negative Figur: nur im Hauche sichtbarer Saum um eine blanke Fläche. Nach 220 Funken. Positive Figur: Schwarze Scheibe von 0,12 Lin. Durchmesser, blauer Gürtel, gelber Saum von 0,18 Lin. innerm Durchmesser. Negative Figur: Blanke Fläche mit gelbem Saume von 0,29 Lin. Durchmesser. Nach 330 Funken waren die Figuren nicht wesentlich geändert. Nach 550 Funken. Positive Figur: Schwarze Scheibe von 0,14 Lin. Durchmesser, Gürtel innen roth, aussen blau, innerer Durchmesser des gelben Saumes 0,20 Lin. Negative Figur: Blanke rundliche Fläche, Saum brandgelb.

Die isolirte Nadel wurde durch einen Metalldrath mit dem Funkenstabe verbunden, die Wassersäule zur Ableitung der zweiten Nadel benutzt. Nach 550 Funken war die positive Figur eine nicht ganz scharfe schwarze Scheibe von 0,16 Lin. Durchmesser, mit blauem Gürtel und gelbem Saume, dessen innerer Durchmesser 0,22 Lin. betrug; die negative Figur: eine elliptische blanke Fläche mit dunkelgelbem Saume (längster Durchmesser 0,33 Linie).

Aus diesen Versuchen folgt, dass der von der Elektrisirmaschine ausgehende Strom, wenn er in seinem Laufe zur Erde verzögert wird, auf den, durch ihn positiv und negativ gewordenen Stellen einer Messingplatte sehr verschiedene Figuren bildet. Die *positive* Figur besteht aus einer kreisrunden schwarzen Scheibe, diese von einem blanken, oft farbigen Gürtel, dieser von einem matten rothgelben Saume umgeben; die *negative* Figur aus einer blanken, nicht immer kreisrunden Fläche, die von einem matten rothgelben Saume eingefasst wird. Jede Figur ist, ohne Vergleichung mit der ihr ungleichnamigen, mit grösster Sicherheit zu benennen. Ferner hat die positive Figur stets schärfere Umrisse, als die negative, und die vom Saume eingefasste Fläche ist an der positiven kleiner, als an der negativen Figur. Die beiden letzten Kennzeichen kommen auch bei vollkommener Leitung des elektrischen Stromes vor, bedürfen aber zu ihrer Erkennung einer genauen Vergleichung beider Figuren.

§. 3.

Grösse und Ausbildung der Figuren nehmen zu, innerhalb einer gewissen Gränze, mit der Menge der zu ihrer Bildung benutzten Elektricität. Die zu ihrer vollständigen Ausbildung nöthige Elektricitätsmenge ist verschieden, wie sich weiter unten zeigen wird, nach dem Metalle, auf dem die Figuren gebildet werden. Der Einfluss der andern Bedingungen des Versuchs auf die Figuren wurde, wie folgt, bestimmt.

Mit der Länge der vom Conductor gezogenen Funken

steigt die Dichtigkeit und Menge der Elektricität, die zwischen den Spitzen und der Metallplatte übergeht. Benutzt man daher eine gleiche Anzahl Funken, so geben die längern Funken die grösseren und vollkommenern Figuren. Es wurden die Spitzen 1/2 Linie über die Messingplatte gestellt, und bei Einschaltung der Wassersäule 200 Funken vom Conductor genommen. Als diese Funken 3 Linien lang waren, zeigte die positive Figur eine schwarze, 0,05 Lin. breite Scheibe, im Gürtel einen gelben und einen blauen Ring, einen gelben Saum von 0,13 Lin. Durchmesser; die negative Figur eine blanke Kreisfläche, umgeben von einem 0,22 Lin. breiten Saume. Bei einer Funkenlänge von 1 Zoll war die positive Scheibe 0,05 Lin. breit, die Ringe des Gürtels lebhaft roth, gelb, blau, der Durchmesser des Saumes 0,18 Lin.; der Saum der negativen Figur mass 0,24 Lin. im Durchmesser.

Die Entfernung der Spitzen von der Platte, wenn sie eine gewisse Gränze übersteigt, vermindert die Schärfe der beiden Figuren. Eine Messingplatte wurde vertical aufgestellt, die beiden Stahlnadeln waren normal gegen die Fläche an Metallarmen und diese an einem Glasstabe befestigt, der mittels einer Schraube messbar zu verschieben war. Die Figuren wurden durch 200 Funken von 1/2 Zoll Länge gebildet. Bei 1/4 und 1/2 Linie Entfernung der Spitzen von der Platte war die positive und negative Figur vollständig ausgebildet, bei der Entfernung von 1 Linie aber nur die positive. Die negative Figur konnte nur bei Behauchung als ein unregelmässiger Fleck erkannt werden. Betrug die Entfernung 3 Linien, so war die positive Figur unvollständig, eine dunkle Scheibe, unmittelbar von einem gelben Saume eingefasst; die negative Figur erschien bei Behauchung als ein Haufen einzelner Flecken.

Das Material der Spitzen ist gleichgültig. Ich habe Nadeln von Platin, Gold, Silber, Kupfer, Stahl und Zinn gebraucht, ohne einen Unterschied in der Abformung der Figuren zu bemerken, der nicht der verschiedenen Vollkommenheit der Zuspitzung zuzuschreiben war. Zierliche

scharfe Figuren verlangen gute Spitzen, weshalb ich mich ferner ausschliesslich der Stahlnadel bedient habe (englischen Nähnadel *Hemming blunt* 7).

Eine verschiedene Neigung der Nadeln gegen die Platte hat keinen Einfluss auf die Figuren. Es wurden die Nadeln das eine Mal normal gegen die Platte gestellt, das andere Mal 45 Grad gegen sie geneigt, während die Entfernung der Spitzen von der Platte unverändert $1/2$ Linie betrug. Die so gebildeten Figuren waren einander völlig gleich, namentlich die positiven Figuren scharf und kreisrund bei normaler wie bei schiefer Stellung der Nadeln. Der Mittelpunkt der Figur lag stets im Fusspunkte der Spitze, wenn die Nadel nicht so stark geneigt war, dass die Funken auch von andern Punkten, als der Spitze übergehen konnten.

§. 4.

Ich habe die Figuren auf verschiedenen Metallplatten gebildet, von welchen die auf Kupfer und Silber eine besondere Erwähnung verdienen. Es wurde dabei der Conductor der Elektrisirmaschine auch negativ elektrisirt, wodurch unter der isolirten Nadel die positive, unter der zur Erde abgeleiteten die negative Ringfigur entstand. Bei verschiedener Elektrisirung des Conductors erhält man die entgegengesetzten Figuren unter derselben Nadelspitze, und controlirt dadurch eine während der Versuche eingetretene Ungleichheit der beiden Spitzen.

Die isolirte Nadel wurde durch einen kurzen Kupferdrath mit dem Funkenstabe verbunden, dessen Kugel 3 Linien von der Endkugel des Conductors entfernt war. Die zweite Nadel wurde zur Erde vollkommen abgeleitet und unter die Spitzen der Nadeln, $1/2$ Linie von ihnen entfernt, eine hellpolirte Kupferplatte isolirt gelegt. Nachdem etwa 220 Funken zwischen den Kugeln übergegangen waren, hatten sie auf der Platte sichtbare Spuren hinterlassen. Die negative Figur bestand aus einem sehr schwachen braunen Flecke, die positive aus einem unregelmässigen, aber scharf

erkennbaren blauen Flecke mit brauner Umgebung. Nach 600 Funken bestand die negative Figur aus einer schlechtbegränzten rothbraunen Scheibe, die positive aus einer kleinern scharf umrissenen blauen Scheibe von 0,11 Linie Durchmesser mit rothbraunem Saume. Diese Figuren konnten mit blossem Auge und ohne Vergleichung mit einander, sicher erkannt werden.

Als die isolirte Nadel statt durch einen Kupferdrath durch die Wassersäule mit dem Funkenstabe verbunden war, brachten 600 Funken die Ringfiguren scharf und in grösster Verschiedenheit hervor. Die positive Figur zeigte eine braune Scheibe mit hellerem Mittelpunkte von 0,12 Linie Durchmesser, im blanken Gürtel einen rothen, gelben und violetten Ring; der innere Durchmesser des rothbraunen Saumes betrug 0,20 Lin. Die negative Figur bestand aus einer blanken runden Fläche mit einem rothbraunen Saume von 0,22 Lin. Durchmesser. Bei den Wiederholungen des Versuchs kam keine andere Abweichung vor, als dass die negative Figur nicht kreisrund, sondern elliptisch, oder unregelmässig ausgebaucht war. Die negative Figur war stets grösser als die positive.

Auf Kupfer sind also bei jeder Leitung des Funkenstroms die ungleichnamigen Ringfiguren in der Grösse und im Ansehn verschieden; bei unvollkommener Leitung wird diese Verschiedenheit am grössten und tritt in derselben Weise auf, wie am Messing.

§. 5.

Das Silber ist äusserst empfindlich gegen elektrische Einwirkung und wird schon durch wenige Funken gefärbt. Eine hellpolirte Silberfläche (einer silberplattirten Kupferplatte, wie sie zu Daguerreotypen gebraucht wird) wurde unter die Nadeln der beschriebenen Vorrichtung gelegt, $^1/_2$ Linie von ihren Spitzen entfernt, und die Leitung jeder der beiden Nadeln aus Kupferdrath genommen. Nach 30 Funken erschien die positive Ringfigur als tief blaue Scheibe mit gelbem Saume, 0,39 Lin. im Durchmesser, die negative

Figur jener ganz gleich, nur grösser, 0,46 Lin. im Durchmesser. Als zwischen die isolirte Nadel und den Funkenstab die Wassersäule eingeschaltet wurde, waren die durch 30 Funken gebildeten Figuren kleiner, sonst aber den früheren entsprechend, die positive Figur eine blaue Scheibe mit gelbem Rande von 0,13 Lin. Durchmesser, die negative ihr gleich, aber von 0,22 Lin. Durchmesser. Hier war also die positive Figur von der negativen zwar merklich, aber nur durch die Grösse unterschieden. Zwar hatte ich schon durch 10 Funken verschieden geformte Figuren erhalten, aber nicht sicher. Unter 10 Versuchen kam es nur zweimal vor, dass die negative Figur aus einer blanken Fläche mit dunkelm Mittelpunkte und braunem Saume bestand, die positive eine hellbraune Scheibe zeigte. In den übrigen Versuchen waren beide Figuren volle Flecke, die positive braun und ziemlich rund, die negative grösser, braun mit blau gemischt und schlecht begränzt. Nach 50 Funken war die positive Figur eine lavendelblaue Scheibe mit braunem Saume von 0,16 Lin. Durchmesser, die negative eine tief blaue Scheibe mit gelber Mitte, braun gesäumt, 0,24 Lin. breit. Erst durch 100 Funken wurden durchaus verschiedene Figuren gebildet. Die positive Figur zeigte eine braune Scheibe von 0,13 Lin. Durchmesser, einen schmalen blanken Gürtel und einen schwarzen Saum, 0,16 Lin. im Durchmesser; die negative Figur eine hellgrüne, 0,11 Lin. breite Scheibe, im Gürtel einen blauen, rothen, gelben, grünen und violetten Ring, einen braunen Saum von 0,26 Lin. Durchmesser. Die Farben der Ringe waren von grosser Reinheit und Lebhaftigkeit. Nach 200 Funken bestand die positive Figur aus einer grünlich gelben braungesäumten Scheibe, auf welche ein sehr schmaler blauer Gürtel folgte, mit dunkelbraunem Saume von 0,19 Lin. Durchmesser. Die negative Figur zeigte eine mit farbigen Ringen erfüllte Scheibe von 0,16 Lin. Durchmesser, um welche ein graublauer Gürtel mit dunkelm 0,26 Lin. breitem Saume lag. Die Farben waren weniger glänzend, als in der vorigen negativen Figur [1]).

---

1) Ich habe es aufgegeben, die Ringfiguren hier und in der Folge

Die beschriebenen Versuche verlangen weder reines, noch hellpolirtes Silber und können, wenn man sich mit geringerer Zierlichkeit der negativen Figur begnügt, an jedem verarbeiteten Silber ohne Spiegelpolitur wiederholt werden. Die Ringfiguren auf Silber sind, je nach der Elektrode, die sie gebildet hat, verschieden und zwar in Hinsicht der Grösse, wie bei allen Metallen, indem die negative Figur die positive stets an Ausdehnung übertrifft, ihr aber an Schärfe der Begränzung nachsteht. In Hinsicht auf Form und Färbung sind die Figuren auf Silber vor allen andern dadurch ausgezeichnet, dass eine blanke von einem Saume umgebene Fläche hier nur selten vorkommt, dass in den meisten Fällen auch die negative Figur im Innern gefärbt ist, und dass die lebhaft farbigen Ringe vorzugsweise an dieser Figur auftreten.

§. 6.

Die bisher beschriebene Darstellung der Ringfiguren ist lehrreich durch die Einfachheit des dabei gebrauchten Apparates und den Umstand, dass sie sich der Weise anschliesst, auf welche man bisher die Priestley'schen Ringe dargestellt hat. Es wird dadurch klar, dass die Verschiedenheit dieser Ringe nach der Art der sie bildenden Elektrode darum übersehen worden ist, weil man sich guter Leitungen des Entladungsstroms und zu grosser und dichter Elektricitätsmengen dazu bediente. Sonst hat diese Art der Darstellung das Unbequeme, dass sie bei vielen Metallen eine längere Zeit in Anspruch nimmt, und die unterschiedenen Figuren, wenn auch sehr scharf, doch, wie die angeführten Messungen zeigen, so klein ausfallen, dass zu ihrer genauen Erkennung die Lupe, häufig das zusammengesetzte Mikroskop nöthig ist. Beide Uebelstände werden vermieden durch Anwendung des elektro-magnetischen Inductionsapparats mit

abbilden zu lassen, weil die ungemeine Zierlichkeit ihrer Form und Zartheit ihrer Farben dabei verloren gegangen wäre, und von Dem, was übrig bleibt, sich durch Worte eine genügende Vorstellung geben lässt. Auch glaube ich nicht, dass die Beschreibung der sehr einfachen Apparate eine Zeichnung wird vermissen lassen.

Selbstunterbrechung statt der Elektrisirmaschine. Damit erhält man in kürzester Zeit Figuren, die dem unbewaffneten Auge deutlich erkennbar sind, aber freilich unter dem Mikroskope selten so scharf begränzt erscheinen, wie die früheren Figuren. Der bei den folgenden Versuchen gebrauchte Inductionsapparat ist 1855 in der Werkstatt von Siemens und Halske angefertigt worden und gibt Funken von ½ Zoll Länge, wenn er durch ein Grove'sches Element erregt wird (in einem Trinkglase, das 15 Unzen Wasser fasst). Die Inductionsrolle enthält angeblich 14000 Fuss eines ¼ Millim. dicken Kupferdrathes, der Unterbrecher ist nach Halske's Angabe ausgeführt (Poggendorff's Annal. 97. 641.).

Bei der langen Dauer jedes Funkens vom Inductions-Apparate ist eine absichtliche Verzögerung desselben durch Platindrath oder eine Wassersäule überflüssig. Die Darstellung der Figuren geschieht äusserst leicht durch Verbindung der Enden der Inductionsrolle mit zwei winkelrecht befestigten Nadeln, unter deren Spitzen eine Metallplatte gelegt wird. Die Nadel, welche durch den Oeffnungsstrom des Apparats positiv elektrisch wird, wirkt wie die Nadel, die mit dem positiv elektrischen Conductor der Elektrisirmaschine verbunden ist, und so fort. Dass die Schnelligkeit, mit welcher die Funken vom Apparate einander folgen, keinen wesentlichen Einfluss auf die Figuren hat, lehrten Versuche, bei welchen die Nadeln ½ Linie über eine Kupferplatte gestellt waren. Der Apparat wurde mit der Hand, durch eine in Quecksilber tauchende Metallspitze oder durch ein Blitzrad in Thätigkeit gesetzt. Im ersten Falle entstanden in der Secunde 4 bis 5, im zweiten 20 Funken zwischen den Spitzen und der Metallplatte. Nach einigen Minuten waren die unterschiedenen Figuren gebildet, völlig gleich denen, die früher von der Elektrisirmaschine bei Einschaltung der Wassersäule erhalten wurden, und nicht wesentlich verschieden von denen, welche in den folgenden Versuchen der Inductionsapparat mit dem schnell oscillirenden Selbstunterbrecher lieferte.

§. 7.

Die Ausbildung der Figuren bei zunehmender Elektricitätsmenge kann hier vollständiger aufgezeigt werden, als mit der Elektrisirmaschine. Die beiden Stahlnadeln wurden ½ Linie über einer hellpolirten Messingplatte befestigt und 9 Figurenpaare gebildet, während der Inductionsapparat verschiedene, an einem Chronometer bestimmte, Zeiten in Thätigkeit erhalten war. Der die Figuren umgebende Saum war desto breiter, je mehr Funken angewendet wurden, und damit dunkler; anfangs gelb, wurde er braungelb, zuletzt schwarzbraun. Der in der Tafel angegebene Durchmesser bezieht sich auf seinen innern Rand, der stets schärfer ist, als der äussere. Bei der negativen Figur legen sich die Ringe an diesen innern Rand an, so dass die Mitte der Figur stets blank bleibt.

Dauer d. Funkenstroms. Minut.	Positive Figur. Saum	Scheibe	Gürtel	Negative Figur. Saum	Ring	blanke Fläche
	Durchmesser par. Linien.			Durchmesser par. Linien.		
1/30	0,13	0,13 Centr. hell				
1/12	0,28	0,16 „ „	farbige Ringe			
1/4	0,34	0,18 „ „	Farben matt			
1/2	0,40	0,18 „ „	braun, grün	0,57		
1	0,55	0,22 „ „	braun, grün, blau	0,88	gelb	0,61
2	0,61	0,24 „ dunkel	lebhafte Ringe	0,88	„	0,59
3	0,66	0,26 „ „	„ „	0,99	blau, gelb	0,46
5	0,66	0,26 „ „	„ „	0,99	„ „	bogenförmig ausgeschweift
10		0,26 „ „	„ „	1,10	„ „	Blumenblätt. ähnlich

Die letzte negative Figur erschien innerhalb des breiten schwarzbraunen Saumes, wie eine aus hellgelbem Grunde ausgesparte sechsblättrige, von einem hellblauen Ringe umgebene Blume. Das Hauptmerkmal zur Unterscheidung der entgegengesetzten Figuren bildete überall die vom Saume

eingeschlossene blanke Fläche der negativen Figur, gegenüber der schwarzen Scheibe der positiven. Obgleich in den vier letzten Versuchen die Scheibe nicht merklich an Grösse zugenommen, die blanke Fläche hingegen merklich abgenommen und in den beiden letzten Versuchen ihre Kreisform verloren hatte, so war doch keine Aehnlichkeit der ungleichnamigen Figuren vorhanden. Merkwürdig sind die drei ersten Versuche bei der Wirkung des Apparats von 2, 5 und 15 Sekunden. Bei allen dreien war die positive Figur vollkommen erkennbar, im dritten Versuche sogar in allen ihren Theilen vollständig ausgebildet, aber die negative Figur fehlte gänzlich und ihre Stelle war nur bei Behauchung momentan zu erkennen. Dies auffallende Ergebniss verlangt keine besondere Sorgfalt bei Anstellung des Versuchs, es ist schon oben bei den Versuchen mit der Elektrisirmaschine und später so oft vorgekommen, dass es mir gelegentlich ein bequemes Mittel abgab zur Bestimmung der Pole des Inductionsapparats. Eine Messingplatte, unter die mit dem Apparate verbundenen beiden Spitzen gehalten, gab in wenigen Sekunden eine sichere Entscheidung. Die Spitze, unter welcher das Messing geschwärzt erschien, war die durch den Oeffnungsstrom negative, die, unter welcher es seinen Glanz behalten hatte, die positive Elektrode. Ein so grosser Unterschied der Wirkung des elektrischen Stromes, je nach seiner Richtung gegen eine Platte, kann bei den Staubfiguren niemals vorkommen.

Die beschriebenen Figuren liessen sich ohne besondere Vorsicht aufbewahren, und ertrugen selbst ein mässiges Reiben mit einem leinenen Tuche. Die negativen Figuren und die kleineren positiven blieben dadurch unverändert. Nur die grösseren Scheiben, von 0,22 Lin. Durchmesser an, wurden dadurch verkleinert, und es blieb von ihnen ein schwarzer Fleck von etwa 0,15 Lin Breite zurück, der von einem blanken Messingringe umgeben war. Für das unbewaffnete Auge erhielten die Figuren dadurch eine grössere Zierlichkeit.

§. 8.

Die Figuren wurden durch den Inductionsapparat auf verschiedenen Metallen dargestellt, die zur Hand oder leicht zu erhalten waren, und deren Oberfläche, wenn nicht polirt, eben und von gröberen Unreinigkeiten befreit war. Durch Benutzung eines Statives, dessen horizontale Holzplatte durch eine Schraube vertical zu verschieben ist, wurde der Versuch sehr bequem. Ueber der Holzplatte befanden sich zwei Stahlnadeln in vertical durchbohrten Druckschrauben, die mit den Enden der Inductionsrolle metallisch verbunden waren. Ich legte das Metall auf eine Glasplatte, diese auf das Stativ, liess die beiden Nadeln auf das Metall fallen, klemmte sie fest und senkte das Stativ um $1/2$ Linie. Nach kurzer Thätigkeit des Inductionsapparats waren die Figuren vollkommen deutlich und unterschieden.

Silber. Nach 5 Secunden war die positive Figur eine dunkelblaue Kreisscheibe mit braungelbem Saume, die negative Figur eine grössere braungesäumte, mit farbigen Ringen erfüllte Kreisfläche. Bei längerem Spiele des Apparats wurden die Figuren undeutlicher, dunkler und liessen sich nur durch Vergleichung mit einander unterscheiden, indem die positive Figur kleiner und schärfer begränzt war, als die negative.

Kupfer. Nach $1/2$ Minute. Positive Figur: Eine schwarze Scheibe mit hellem Centrum, blankem farbigen Gürtel und braunem Saume. Die negative Figur war eine blanke braungesäumte Kreisfläche, in welcher, wenn das Kupfer nicht hell polirt war, sich häufig angegriffene Stellen fanden. Dasselbe findet auch sonst Statt, wenn man den Apparat längere Zeit fortwirken lässt. Dann legt sich an den innern Rand des Saumes der negativen Figur ein blauer Ring an, und die Mitte der Kreisfläche wird durch einen schwarzen Punkt bezeichnet. Da indess zugleich die Scheibe der positiven Figur an Grösse und Schwärze zunimmt, so ist auch dann eine Verwechselung der Figuren nicht möglich. Die

Figuren waren noch hinlänglich verschieden, als der Apparat 10 Minuten lang gespielt hatte.

Messing. Nach $^1/_2$ Minute war die positive Figur eine schwarze Scheibe mit hellem Mittelpunkte, farbigem Gürtel und gelbbraunem Saume, die negative eine blanke Kreisfläche mit schwachem gelben Saume.

Stahl. Eine Minute. Positive Figur: Schwarze Scheibe, sehr blanker Gürtel, schwärzlicher Saum. Negative Figur: Blanke Kreisfläche mit schwärzlichem Saume.

Zinn. Eine Minute. Positive Figur: Schwarze Scheibe mit blauem Gürtel und braunem Saume. Negative Figur: Blaue Kreisfläche mit schwärzlichem Saume.

Zink. Nach einer halben Minute war als positive Figur eine schwarze Scheibe mit hellem Centrum entstanden, während die negative Figur nur mit Anstrengung als helle Kreisfläche mit dunkelm Centrum zu erkennen war. Nach einer Minute war die positive Figur eine schwarze Scheibe mit blauem Gürtel, die negative eine blaue, braungesäumte Kreisfläche mit dunkelm Centrum.

Neusilber. Nach $^1/_2$ Minute. Positive Figur: Schwarze Scheibe mit hellem Centrum, Gürtel mit lebhaft farbigen Ringen, schwarzer Saum. Negative Figur: Blanke Fläche mit schwachem gelben Saume und gelbem Centralpunkte. Nach einer Minute: Die positive Figur: wie vorher, nur weniger lebhaft gefärbt, die negative eine blanke Fläche, braun gesäumt.

Antimon. Nach einer Minute. Positive Figur: Eine schwarze Scheibe mit anliegendem gelben Ringe, blanker Gürtel mit blauem Ringe, braunem Saume. Negative Figur: Blauer Fleck mit schwarzem Centrum.

Wismuth. Nach $^1/_2$ Minute. Positive Figur: Schwarze Scheibe, Gürtel mit gelbrothem, blankem und blauem Ringe, brauner Saum. Negative Figur: Schwarzer Punkt in einer blauen, braungesäumten Kreisfläche. Nach einer Minute war die positive Figur grösser und dunkler, aber weniger zierlich geworden.

Aluminium. Nach $^1/_2$ Minute. Positive Figur: Schwarze Scheibe mit braunem Rande, blankem Gürtel, sehr schwachem bräunlichen Saume. Negative Figur: Sehr kleiner dunkler Punkt, nur im Hauche sichtbarer Saum. Nach einer Minute war die positive Figur grösser, die negative etwas deutlicher geworden.

Gold. Nach 5 Minuten war auf der hellpolirten Fläche die positive Figur eine kleine matte Scheibe, umgeben von einem sehr scharfen schwarzen Ringe, breitem blanken Gürtel und mattem Saume. Die negative Figur bestand aus einem grossen matten Flecke mit breitem blanken Gürtel und mattem Saume. Die Figuren, obgleich in der Form weniger, als in allen vorangehenden Beispielen, waren deutlich unterschieden, die positive Figur durch die Schärfe ihres Ringes sicher zu erkennen.

Platin. Erst nachdem der Apparat 10 Minuten lang gewirkt hatte, waren die Figuren und zwar mit Anstrengung zu unterscheiden. Die positive Figur eine kleine matte Scheibe mit breitem blanken Gürtel und mattem Saume, die negative als unregelmässiger matter Fleck.

Von den versuchten Metallen eignen sich zur leichtesten Darstellung scharfer und vollständiger Ringfiguren: Messing, Neusilber und Kupfer. Unter den neun übrigen Metallen sind am wenigsten dazu tauglich: das Silber, wegen seiner zu grossen Empfindlichkeit gegen den Funken, Gold und Platin aus dem entgegengesetzten Grunde.

§. 9.

Aus den in den acht vorangehenden Paragraphen beschriebenen Versuchen lassen sich folgende allgemein gültige Resultate angeben. Wenn ein elektrischer Strom in freier Luft mit Funken auf eine glatte Metallfläche übergeht, so bildet sich, nach öfterer Wiederholung der Funken, durch Veränderung der Oberfläche des Metalles rings um die Uebergangsstelle, eine Ringfigur; die positive, wenn der positive Strom aus der Fläche austritt, die negative, wenn er in die Fläche eintritt. Die Funken müssen kurz sein, damit ihre

Wiederholung an ein und derselben Stelle der Metallfläche ausführbar bleibt. Grösse und Ausbildung der Figuren nehmen zu bis zu einer gewissen Anzahl von Funken. Die positive Ringfigur wird nach einer kleineren Anzahl von Funken sichtbar, als die negative; wenn daher beide Figuren durch eine gleiche Funkenzahl gebildet sind, so hat in der positiven Figur die Metallfläche eine stärkere Aenderung erlitten, als in der negativen. Ausserdem ist die positive Figur kleiner, als die ihr entsprechende negative und ihre Umrisse sind schärfer. Diese Unterschiede der beiden Figuren sind in allen Fällen vorhanden, werden aber nur bei Vergleichung der Figuren merkbar, oder bei einer, nach den Metallen, mehr oder minder genauen Untersuchung.

Gibt man bei diesen Versuchen dem einzelnen Funken eine längere Dauer, was durch Einschaltung eines langen Drathes oder einer Flüssigkeitssäule in die Bahn des Stromes der Elektrisirmaschine, oder durch Benutzung eines Magneto-Inductionsstroms leicht zu bewirken ist, so erhalten die ungleichnamigen Figuren eine sehr verschiedene Gestalt. Jede Figur kann dann für sich mit Sicherheit benannt werden. Die positive Ringfigur zeigt eine matte kreisrunde Scheibe, umgeben von einem blanken Gürtel, der von einem breiten matten Saume eingefasst wird. In der negativen Figur fehlt die Scheibe gänzlich oder ist auf einen Punkt reducirt, so dass der matte Saum eine blanke Kreisfläche einschliesst. Wenn auch bei längerer Wirkung der Funken, diese Fläche an verschiedenen Stellen angegriffen wird, so macht sie doch den Eindruck einer leeren, nur zufällig gefüllten Fläche, während die positive Figur eine regelmässig ausgefüllte Fläche darstellt. Die farbigen Ringe, welche zuweilen die Scheibe, öfter die blanken Flächen der Figuren füllen, begründen keinen wesentlichen Unterschied beider Figuren. Sie treten bei den meisten Metallen am lebhaftesten und zierlichsten im Gürtel der positiven Figur auf, bei dem Silber in der blanken Fläche der negativen Figur. Werden beide Figuren gleichzeitig durch denselben Strom gebildet, so lässt sich bei mehren Metallen der Ver-

such im Augenblicke abbrechen, wo die vollständige positive Figur sichtbar, die negative aber noch nicht zum Vorschein gekommen ist. Die Figuren erhalten sich lange und werden dabei dunkler, besonders ist Letzteres mit dem Saume beider Figuren der Fall, der gleich nach der Bildung nach aussen verwaschen, erst mit der Zeit in bestimmteren Umrissen hervortritt.

Entstehung der Ringfiguren.

§. 10.

Die Entstehung der Ringfiguren und ihrer Verschiedenheit an den beiden Elektroden bietet manches Räthselhafte, so dass es nöthig erscheint, streng Das zu sondern, was darüber unzweifelhaft feststeht, von Dem, was nur hypothetisch abzuleiten möglich ist.

Die Figuren werden durch eine Veränderung gezeichnet, welche nur die äusserste Oberfläche des Metalles trifft, nebenbei auch durch eine tiefer gehende Veränderung. Diese letztere besteht in einer Zerreissung und Schmelzung der Metallmasse in der Mitte der Figur und deren Nähe, und ist eine bekannte unmittelbare Wirkung der elektrischen Entladung. Wenn ein elektrischer Strom, gleichgültig von welcher Richtung, aus einer vollkommen reinen Metallmasse in Luft übertritt und darin intermittirt, so beginnt die Intermittenz schon im Metalle selbst. Der intermittirende Strom erhitzt, zerreisst, zerschmelzt das Metall, wie er es in einem dünnen Drathe thut, den er durchströmt. Uebersieht man diese Auflockerung des Metalles, die bei einigen Metallen immer eintritt, bei andern erst nach längerer Einwirkung schwacher Ströme oder sogleich bei Anwendung eines starken Stromes, so ist in der Ringfigur nur eine mittelbare Wirkung des Stromes zu erkennen. De la Rive sah durch den Flammenbogen einer voltaischen Säule auf einer Platinplatte einen runden bläulichen Fleck entstehn, wenn die Platte von Luft, nicht aber, wenn sie von Wasserstoffgas umgeben war. Grove konnte in verdünntem Stickstoff- oder

Wasserstoff-Gase keine Figuren erzeugen; ich liess in verdünntem reinen Wasserstoffgase den Inductionsstrom 2½ Minuten zwischen einer Spitze und einer Silberplatte übergehn, ohne eine Färbung zu erhalten, die nach Hinzulassen von Luft in wenigen Sekunden eintrat. Die Elektricität bildet die Ringfiguren erst bei der Anwesenheit von Sauerstoff.

Die Figuren entstehen nicht auf einer Metallfläche, die mit einer Oel- oder Firnissschicht bekleidet ist. Eine vollkommen gereinigte, selbst spiegelhell polirte Fläche ist mit einer fremden Schicht bedeckt, wie die Behauchung zeigt. Diese Schicht wird durch den elektrischen Funken zerrissen und ihre Bestandtheile werden kreisförmig auf die Platte geworfen; denn ehe die Ringfigur sichtbar wird, erscheint bei der Behauchung eine helle Kreisfläche, die häufig von einem Ringe umgeben ist von stärkerer Trübung, als der Grund. Es folgt hieraus, dass der elektrische Funkenstrom, der eine Metallplatte trifft, auf dieser eine Kreisfläche von der sie deckenden fremden Schicht befreit, und dass diese gereinigte Stelle durch den Sauerstoff der Luft verändert, also oxydirt wird.

§. 11.

Ist die Ursache der Veränderung des Metalles in den Ringfiguren nicht zweifelhaft, so ist es die Ursache der bestimmten Form um so mehr, welche diese Veränderung erleidet. Da eine Oxydirung des Metalles auch durch Erhitzung bewirkt wird, so vermutheten Priestley und Nobili, dass die Ringfiguren durch die Hitze gebildet werden, welche der Funkenstrom an seiner Eintrittsstelle im Metall erregt. Diese Erklärung ist entschieden ungenügend. Wäre sie nämlich richtig, so müssten die Figuren da am leichtesten entstehn, wo die grösste Wärme entsteht und in gegebener Zeit auf die kleinste Stelle beschränkt ist, auf schlechten Leitern der Elektricität und Wärme. Die Figuren entstehn aber bei Weitem am leichtesten auf Silber, sehr vollkommen und leicht auf Kupfer. Beide Metalle sind die besten Elektricitäts- und Wärme-Leiter. Ferner

widerspricht die Form der Ringfigur jener Erklärung. Die Wärme könnte nur Scheiben hervorbringen, in welchen die Oxydschicht von der Mitte zum Rande abnähme, die Figuren zeigen aber im Allgemeinen eine oxydirte Scheibe, umgeben von einem blanken, weniger oxydirten Gürtel, auf den der wieder stark oxydirte Saum folgt. Zuweilen ist der Mittelpunkt der Centralscheibe hell. Auch ist die Erwärmung im Gürtel keineswegs so hoch, um für sich eine Oxydirung des Metalles zu bewirken. Ich habe die Figuren auf der Metalllegirung dargestellt, die vor Kurzem aus Wismuth, Zinn, Blei und Cadmium zusammengesetzt worden ist und bei 76 Grad Celsius schmilzt. Die positive Figur bestand aus einer dunkeln Scheibe mit geschmolzenen Stellen, aber der lebhaft gefärbte Gürtel war ohne Schmelzung, vollkommen eben und blank. Der Einfluss der Wärme auf die Bildung der Figuren kann daher nur sekundär sein, indem sie die Oxydirung des Metalles befördert, aber die Ursache der eigenthümlichen Form und Färbung der Figuren ist sie nicht.

Grove hat zur Erklärung des blanken Gürtels einer Figur, die in einem stark verdünnten Gemenge von Sauerstoff- und Wasserstoffgas gebildet war, angenommen, dass der elektrische Strom nicht allein von der Spitze der Nadel zur Metallfläche übergeht, sondern auch von den Seiten der Nadel, und dass die Theilströme, welche verschieden lange Wege zurücklegen, einander durch Interferenz so verändern, dass sie theils oxydirend, theils reducirend wirken. Er schmelzte einen $^1/_5$ Linie dicken Platindrath in Glas ein, so dass nur seine Endfläche frei blieb, und brachte diese über eine Silberfläche in einem Gemenge aus 5 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Sauerstoffgas, das zu einem Drucke von $^1/_2$ Zoll Quecksilber verdünnt war. Als die Silberplatte positive Elektrode eines Stromes vom Inductionsapparate war, bildete dieser auf der Platte einen dunkeln runden Fleck, während unter einer unbedeckten Stahlnadel eine mit Ringen erfüllte Scheibe entstand. Ich habe in freier Luft keinen wesentlichen Unterschied der Ringfigur finden können bei nack-

tem und bekleidetem Drathe. Ein Platindrath, 1/6 Linie dick, war 1/2 Linie über einer Kupferplatte aufgestellt, welche die positive Elektrode des, eine Minute anhaltenden, Inductionsstromes bildete. In einem andern Versuche wurde ein gleicher Platindrath angewendet, der aber, in Glas eingeschmelzt, nur eine Endfläche frei hatte. Beide Versuche gaben dieselbe Figur: eine schwarze Scheibe mit blankem Gürtel, in welchem drei Ringe sichtbar waren, und einem gelben Saume. Ich habe mit zwei Wollaston'schen Elektroden, deren in Glas eingeschmelzter Platindrath 0,037 Lin. dick war, auf Kupfer- und Messing-Platten öfter positive und negative Figuren zugleich gebildet, die an Schärfe und Zierlichkeit den mit unbedeckten Stahlnadeln gebildeten wenig nachstanden. Schon die §. 3 aufgeführten Versuche an der Elektrisirmaschine widersprechen der Annahme, dass die Seitenflächen der Nadeln auf die Form der Ringfiguren einen wesentlichen Einfluss haben. Dann würden die Figuren nicht haben gleich sein können bei einer Neigung der Nadeln von 90 und 45 Graden gegen die Metallfläche. Ich habe diese Versuche am Inductionsapparate wiederholt auf Messing-, Kupfer- und Silberplatten, und keinen wesentlichen Unterschied der Figuren gefunden, die Nadeln mochten normal oder gegen die Platten stark geneigt sein. Nur auf dem so empfindlichen Silber war mit schiefer Nadel oder Wollaston'scher Elektrode die negative Figur öfter verzerrt, als mit unbedeckter normaler Nadel, die positive Figur hingegen stets völlig kreisrund und vollständig ausgebildet.

Es ist also gewiss, dass die Form der Ringfiguren weder durch die erregte Wärme, noch durch die Seitenfläche der Nadel bestimmt wird.

§. 12.

Die Entstehungsweise des blanken farbigen Gürtels, der zwischen der stark oxydirten Scheibe und dem minder oxydirten Saume liegt, bildet die einzige, oder doch die grösste Schwierigkeit bei der Erklärung der Bildung der Ringfiguren. Man könnte, auf jede Erklärung verzichtend, dem elek-

trischen Strome eine passende Beschaffenheit zuschreiben, und in der Form der Ringfiguren den Nachweis derselben finden wollen. Aber dieser Weg, freilich der leichteste, sich von der Schwierigkeit zu befreien, ist gefährlich, und darf nur nach äusserster Nöthigung genommen werden, wenn alle Versuche fehlgeschlagen sind, eine wirkliche Erklärung zu finden, die sich auf bekannte nachweisbare Erscheinungen stützt. Ich will einen solchen Versuch im Folgenden machen.

Die Lichterscheinung, die im Ganzen elektrischer Funken genannt wird, besteht aus einer Menge von Funken, die je nach der Leitung des Stromes, schneller oder langsamer einander folgen. Jeder dieser Partialfunken verändert die ganze Luftstrecke, in welcher er auftritt, indem er einen Theil ihres Sauerstoffes in Ozon verwandelt, einen Theil des Ozon mit dem Stickstoffe zu Salpetersäure verbindet, und die so veränderte Luftmasse nach allen Richtungen mit Heftigkeit forttreibt. Entsteht der Funken an einer Metallplatte, so erfolgt das Aufreissen der die Platte deckenden Schicht, die aus condensirten Gasen besteht, die Erwärmung und Auflockerung des Metalles. Bei jedem Funken, der zur Darstellung der Ringfiguren gebraucht wird, treffen die Metallplatte viele Ströme ozonisirter Luft, die ihr in verschiedener Richtung von entfernten Punkten zukommen und sie oxydiren. Unmittelbar an der Oberfläche der Platte entsteht aber gleichfalls ein Strom ozonisirter Luft, von welcher der wirksame Theil sich nur in der Ebene der Platte fortbewegen kann und welcher, der Kürze wegen, der horizontale Strom heissen mag. Aus dem Zusammentreffen des horizontalen Luftstroms und der schief auffallenden Ströme lässt sich die Form der Ringfiguren ableiten. Der horizontale Strom findet nämlich bei seiner Entstehung erhitztes aufgelockertes Metall, das von ihm oxydirt wird und ihn dadurch seines Ozon beraubt. Es wird also dieser Strom bei seiner Fortbewegung immer ärmer an Ozon, und in einiger Entfernung vom Ausgangspunkte nur aus Stickstoff und unverändertem Sauerstoffe bestehn. Diese ozonfreie Decke schützt die darunter liegende

Metallfläche gegen Oxydirung, es werden die schief auffallenden Luftströme in einer bestimmten Entfernung vom Mittelpunkte der Figur das Metall nicht merklich oxydiren und es erst wieder vermögen, wenn der ozonfreie Luftstrom so langsam und dünn geworden ist, dass jene ihn durchdringen können. Die Strecke auf der Metallplatte, in welcher die schiefen Ströme ozonisirter Luft nicht wirken, bestimmt die Breite des Gürtels. Demzufolge entsteht die dunkle Scheibe der Ringfigur durch den horizontalen Luftstrom und die von oben auffallenden Ströme, der blanke Gürtel durch den horizontalen, seines Ozon beraubten Strom, und der oxydirte Saum wiederum durch die schiefen Luftströme. Je mehr Funken die Metallplatte treffen, desto weiter muss der horizontale Strom von der Ausgangsstelle, wo er bereits oxydirtes Metall findet, fortgehn, um sein Ozon zu verlieren; die dunkle Scheibe wird breiter und der innere Rand des Saumes rückt nach aussen. Die Schützung des Metalles durch die ozonfreie Decke ist nämlich keineswegs vollkommen, der Gürtel besteht niemals aus unverändertem Metalle, sondern ist stets mit einer Oxydschicht bedeckt, die erst bei bestimmter Dicke sichtbar wird. Der innere Rand des Saumes ist anfangs nicht scharf, wird nur durch den Contrast einer lichteren und dunkleren Färbung bestimmt, und erscheint daher bei einer fortgeschrittenen Ausbildung der Figur als Theil des Gürtels. Die nach hinlänglicher Funkenzahl lebhaft farbigen Ringe des Gürtels beweisen, dass die Oxydschicht des Gürtels langsamer und regelmässiger zu Stande gekommen ist, als die Oxydschicht der dunkeln Centralscheibe und des matten Saumes. Bei längerer elektrischer Einwirkung wird natürlich auch der Gürtel matt und seine Farben erblassen.

§. 13.

Einzelne Modificationen der Ringfigur sind dem chemischen Verhalten der Metalle gegen das Ozon zuzuschreiben. Auf Messing, Kupfer, Zink und Neusilber erscheint nach geringer Funkenzahl die Mitte der dunkeln Centralscheibe

hell. Diese Metalle bedürfen zur sichtbaren Oxydation einer längeren Einwirkung des Ozon; im Ausgangspunkte des Luftstromes dauert diese Einwirkung die kürzeste Zeit und es bedarf daher einer öfteren Wiederholung des Funkens, diese Stelle zu färben. Auf Wismuth, Antimon, Zinn und Aluminium ist die Mitte der Scheibe stets dunkel, der Gürtel der positiven, wie die Kreisfläche der negativen Figur farbig; es lässt sich anderweitig zeigen, dass diese Metalle durch geringe Mengen von Ozon oxydirt werden. Das Silber ist so empfindlich für Ozon, dass die Luftdecke selten genügt, die negative Figur vor sichtbarer Oxydation zu schützen; daher ist fast immer die negative Fläche gefärbt, und enthält die schönsten Ringe, welche eben eine mässige Oxydirung verlangen. Wenn beide Figuren gleichmässig blau gefärbt sind, ist dennoch gewiss, dass die Oxydschicht der positiven Figur dicker ist, als die der negativen, und das Blau daher verschiedenen Ringsystemen zugehört.

Dass unter denselben Bedingungen erregte Luftströme eine Metallplatte in so bestimmter Weise treffen, um stets dieselbe regelmässige und scharfe Figur hervorzubringen, kann nicht auffallen und kommt hier nicht zum ersten Male vor. Abria[1]) hat scharfe und regelmässig gestellte Linien in Kreidepulver, das auf eine horizontale Tafel gesiebt war, dadurch hervorgebracht, dass er in einiger Entfernung über der Tafel den Entladungsfunken einer Flasche zwischen zwei Spitzen wiederholt überschlagen liess. Er bewies, dass die Funken nur durch Erschütterung der Luft auf das Kreidepulver wirken, indem er ähnliche Zeichnungen ohne Elektricität, durch momentane Explosionen hervorbrachte.

§. 14.

In der §. 12. angegebenen Weise muss eine Ringfigur derselben Form gebildet werden, die Metallplatte mag positive oder negative Elektrode sein, vorausgesetzt, dass die

1) Annales de chim. 74. 186. Poggend. Ann.* 53. 589.

Luft an der Platte in beiden Fällen dieselbe Beschaffenheit hat. Diese Voraussetzung ist aber nicht richtig, und zwar um so weniger richtig, je langsamer die Partialfunken einander folgen, die den zur Darstellung der Figur gebrauchten einzelnen Funken bilden. Wenn die Platte positive Elektrode ist, so liegen die Sauerstoff-Atome der nächsten Luftschicht der Platte näher, als die Stickstoff-Atome, und das Entgegengesetzte tritt ein, wenn die Platte zur negativen Elektrode gemacht worden. Diese verschiedene Stellung der Bestandtheile der die Platte bespülenden Luft hat Grove mit grosser Wahrscheinlichkeit aus Versuchen geschlossen, die ich in der Einleitung ausführlich angegeben, und von welchen ich den Hauptversuch mit vollständigem Erfolge wiederholt habe. Ich füllte einen Glascylinder mit reinem Wasserstoffgase, liess eine bestimmte Menge atmosphärischer Luft hinzu und verdünnte das Gemenge bis $1/2$ Zoll Quecksilberdruck. Es befand sich im Cylinder eine Stahlnadel $1/4$ Linie über der Silberfläche einer Daguerreotypplatte. Als die Platte 4 Sekunden lang positive Elektrode im Strome eines Inductionsapparats war, zeigte sich auf ihr eine schön blaue, braungesäumte Scheibe, und diese verschwand gänzlich, wenn die Platte 10 Sekunden lang negative Elektrode war. Als sie wieder positiv gemacht war, erschien auch die Scheibe wieder (diesmal ganz braun), und verschwand fast gänzlich durch Umkehrung der Pole des Inductionsapparates. So wurde dieser überraschende Versuch vier- bis fünfmal nach einander angestellt. Zuletzt verschwand die Scheibe nicht mehr, ging aber, wenn die Platte negativ war, von einem tiefen Schwarzbraun in ein helles Grau über.

Aehnliche Erfolge erhielt Grove, als er an der Stelle von Wasserstoff Stickgas anwendete, und kam zu dem Schlusse, dass vor der Funkenentladung in Gasgemengen ein „Anfang von chemischer Zersetzung“ eintritt, indem der elektropositive Bestandtheil des Gemenges gegen die negative, der elektronegative Bestandtheil gegen die positive Elektrode gerichtet wird, ohne dass aber, wie er ausdrücklich hinzusetzt,

eine Fortwanderung der Bestandtheile nach den Elektroden statt findet [1]). Aus dem geringen Erfolge, mit dem Grove seine Versuche an der Elektrisirmaschine wiederholte, wobei er sich wahrscheinlich einer guten Leitung bediente, lässt sich ferner schliessen, dass die Richtung der Gastheile nur dann vollständig ist, wenn die Partialentladungen, welche den Funken bilden, eine gewisse Zeit dauern, und dass, wenn ihre Dauer kürzer ist, nur wenige Gastheile eine bestimmte Richtung annehmen.

§. 15.

Diese Erfahrungen erklären in einfacher Weise die grosse Verschiedenheit der positiven und negativen Ringfigur, die ich im zweiten Abschnitte aufgezeigt habe. Wurden die Figuren bei guter Leitung des elektrischen Stromes gebildet, hatte also jeder einzelne Funken eine nur geringe Dauer, so befand sich die Luft an der positiven und an der negativen Stelle der Metallplatte nahe in demselben Zustande. Die Figur wurde daher an beiden Stellen in der §. 12. angegebenen Weise in ziemlich gleicher Form gebildet, sie bestand aus einer matten Scheibe, einem blanken Gürtel und einem matten Saume. War hingegen die Dauer jedes Funkens bedeutend verlängert worden, durch Einschaltung eines langen Drathes, einer Wassersäule oder durch die Bildung des Stroms am Inductionsapparate, so hatten die Bestandtheile der Luft an den entgegengesetzt elektrischen Stellen der Platte ihre bestimmte Richtung vollständig angenommen. An der positiven Stelle waren in der sie berührenden Luftschicht zwar nicht mehr Sauerstoff-Atome, als früher, aber diese alle gegen die Platte gekehrt. In dem durch den Funken erzeugten horizontalen Luftstrome kam der ozonisirte Sauerstoff sogleich mit dem Metalle in Berührung, die Scheibe der positiven Figur wurde viel kleiner und dunkler, als vorher, der Gürtel erhielt seine lebhaften Farbenringe schon nach geringer Funkenzahl, der Saum war stärker ge-

1) Philos. transactions f. 1852.* p. 96.

zeichnet. An der negativen Stelle der Platte hingegen war die Luftschicht, welche die Platte berührte, zwar genau von derselben Zusammensetzung, wie an der positiven Stelle, aber ihre Stickstoff-Atome waren gegen die Platte gekehrt. Der horizontale Luftstrom brachte daher von seinem Ausgangspunkte an nur Stickstoff an das Metall, die Bedingung fehlte zur Bildung der Centralscheibe; die negative Figur zeigte eine blanke Kreisfläche, umgeben von dem Saume, den die schiefen Luftströme gebildet hatten. Hier ist die oben gemachte Bemerkung zu wiederholen, dass die Stickstoffdecke die Oxydirung des Metalls nicht gänzlich verhindert, sondern nur bedeutend erschwert. Auch die leer erscheinende Fläche ist an manchen Stellen oxydirt, nur, bei geringer Funkenzahl, nicht sichtbar. Wird eine grössere Zahl von Funken angewendet, so wird die Oxydschicht kenntlich in den farbigen Ringen, die in der negativen Figur zuerst an dem innern Rande des Saumes auftreten. Diese nicht sichtbare Oxydirung kommt auch an dem Saume der Figuren vor und ist dann sehr auffallend, indem die negative Figur gänzlich zu fehlen scheint. Ich habe oben einige Fälle angeführt, die auf mehren Metallen leicht zu erhalten sind, in welchen von den gleichzeitig durch denselben Strom gebildeten Figuren die positive Figur mit grösster Bestimmtheit, die negative Figur durchaus nicht sichtbar war. Bei leichtem Anhauchen der Platte wird dann die Oxydschicht kenntlich, und auf einigen Metallen (Zinn, Zink, Wismuth) kommt sie nach einiger Zeit dauernd zum Vorschein.

§. 16.

Es sind noch zwei Verschiedenheiten der positiven und negativen Figur zu besprechen, die, zwar untergeordneter Art, dadurch merkwürdig sind, dass sie die Ringfiguren mit den im Uebrigen von ihnen gänzlich getrennten Staubfiguren in Zusammenhang bringen. Die Theile der positiven Figur: Scheibe, Gürtel, Ringe, Saum sind vollkommen scharf und kreisrund, die Theile der negativen Figur: der Saum und die sich daran legenden Ringe, häufig verwaschen, ver-

zerrt und unregelmässig gebildet. Ferner ist die Fläche, die von dem positiven Saume eingeschlossen wird, stets kleiner, als die von dem negativen Saume eingeschlossene Fläche. Die nächste Ursache dieser beiden Verschiedenheiten ist sichtbar und leicht anzugeben. Die Funken, welche die positive Figur bilden, entstehen immer nahe an derselben Stelle der Metallfläche, dem Fusspunkte der entgegenstehenden Spitze, die Funken der negativen Figur an verschiedenen Stellen. Betrachtet man die Funken bei der gleichzeitigen Bildung beider Figuren an der Elektrisirmaschine mit Einschaltung einer Wassersäule, so erscheinen die Funken der positiven Figur als gerade, auf der Platte normal stehende Linien, die Funken der negativen gegen die Platte geneigt und an verschiedenen Stellen derselben. Hat man die Entfernung der Platte von den Spitzen grösser als gewöhnlich, etwa 1 Linie, genommen, so ist die verschiedene Lage der Funken so auffallend, dass Jeder die Elektricitätsart des Conductors mit grösster Sicherheit danach bestimmen kann An dem Inductionsapparate mit Selbstunterbrechung gibt diese Erscheinung zu einer artigen Täuschung Anlass. Indem das Auge die schnell auf einander folgenden Funken in der Art combinirt, wie die verschiedenen Zeichnungen auf einem bekannten Spielzeug, so sieht man den Funkenstrom auf der positiven Figur als einen fast unbeweglichen Lichtcylinder, die Funken der negativen Figur als einen beweglichen Lichtkegel, dessen Basis auf der Platte liegt. Häufig erscheint der Kegel gerade, gleichmässig um seine leuchtende Axe rotirend, dann hat man eine gut geformte negative Figur auf dem Metalle zu erwarten. Zuweilen erscheint ein schiefer Kegel oder die Rotation stockend, bald nach der einen, bald nach der andern Seite, dann ist die Folge eine unregelmässige verzerrte Figur. Diese scheinbare Rotation des Lichtes der negativen Figur fehlte zwar bei keinem Metalle, ist mir jedoch, vielleicht aus zufälliger Ursache, auf Gold- und Zinn-Platten am meisten aufgefallen.

Den Grund, dass die negative Elektricität von der Spitze

zur Platte den kürzesten Weg einschlägt, die positive hingegen auch längere Wege wählt, finde ich in der Elektrisirung mit negativer Elektricität, welche die Metallplatte unter beiden Spitzen erfährt. Jede von den Partialentladungen, welche den elektrischen Funken bilden, reisst erweisslich die fremde Schicht auf, welche die Platte deckt, und treibt ihre Bestandtheile mit Heftigkeit über die Platte. Diese Schicht besteht, wenn die Platte bereits durch vorangehende Funken gereinigt ist, allein aus condensirtem Wassergase. Es wird also mit jeder Partialentladung feuchte Luft über die Platte getrieben, und die Platte, wie aus Faraday's Versuchen zu schliessen ist, dadurch negativ elektrisch. Die Elektrisirung der Platte muss am stärksten sein in einiger Entfernung von der Stelle, wo der Funken die Luft auseinander sprengt, weil dort die reibende Luftmasse grösser ist, als am Mittelpunkte der Bewegung. Hiernach findet eine folgende Partialentladung des positiven Funkens, welcher von der Spitze zur Platte geht, eine negativ elektrische Kreisfläche, an welcher der Rand am stärksten elektrisch ist; sie geht also entweder zu dem der Spitze nächsten, schwach elektrischen, Mittelpunkte der Kreisfläche, oder zu einem zwar entfernteren, aber stärker elektrischen Punkte ihres Randes. Eine Partialentladung des negativen Funkens wird dagegen nur die Mitte der Kreisfläche treffen, weil der Rand ihm gleichnamig elektrisch ist. Es folgt daraus, dass die negative Figur eine grössere Ausdehnung und unvollkommenere Ründung besitzen muss, als die positive. Es wäre möglich, dass eine äusserlich bewirkte positive Elektrisirung der Platte das Grössenverhältniss der Figuren änderte, doch lässt sich von dem Versuche kein schlagender Erfolg erwarten. Eine dauernde starke Elektrisirung der Platte ist wegen der, ihr nahestehenden Spitzen nicht zu bewirken, und eine schwache Elektrisirung würde nicht vermögen, die durch den heftigen Luftstrom erregte Elektricität unwirksam zu machen.

Das zuletzt gebrauchte Princip der Erklärung ist dasselbe, durch welches ich die Bildung der Staubfiguren be-

greiflich zu machen versucht habe. Bei diesen Figuren ist ebenso, wie bei den Ringfiguren, die unter der positiv elektrischen Spitze gebildete Figur grösser, als die unter der negativen Spitze entstandene, nur ist das Verhältniss der Ausdehnung beider Figuren dort viel grösser, als hier, was bei der isolirenden und leitenden Eigenschaft der Platten, auf welchen die Staubfiguren und Ringfiguren dargestellt werden, nicht weiter in Verwunderung setzen kann.

Vierter Abschnitt.

Wirkung des Schliessungsbogens der Batterie in die Ferne.

Drittes Kapitel.

Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom.

Ueber die Abhängigkeit elektrischer Ströme von der Form ihrer Schliessungen.*

(Zu §. 858.)

Die Entdeckung der Rückwirkung des Nebenstromes auf den ihn erregenden Hauptstrom der leydener Batterie führte mich auf die Untersuchung, ob in der Hauptschliessung selbst ein Nebenstrom erregt und dadurch der Hauptstrom geändert werde. Es wurden 26 Fuss von dem Drathe, der die Batterie schloss, zu zwei ebenen Spiralen gewunden, diese Spiralen einander nahe gegenüber gestellt, und entweder so mit einander verbunden, dass der Entladungsstrom sie in gleicher, oder so, dass er sie in entgegengesetzter Richtung durchlaufen musste. Die Erwärmung in einem andern Theile der Schliessung wurde nicht verschieden gefunden bei die-

---

* Monatsberichte d. Akad. 1862. 343.

ser verschiedenen Form des Schliessungsbogens [1]). Als jedoch Hankel bei seinen Magnetisirungsversuchen durch den elektrischen Strom diesen Versuch mit 317 Fuss Drath wiederholte [2]), und statt des Thermometers die Stahlnadel als Prüfungsmittel gebrauchte, gab dies empfindlichere Mittel einen bedeutenden Unterschied der Magnetisirung, je nachdem die Spiralen in gleichem oder entgegengesetztem Sinne mit einander verbunden waren. Es war hiermit die Aenderung des Entladungsstromes durch veränderte Form seiner Schliessung angezeigt, aber der Sinn dieser Aenderung unbestimmt gelassen. Als ich auf meinen Versuch zurückging [3]), fand ich mit zwei Spiralen, die zusammen eine Drathlänge von 107 Fuss besassen, dass die durch den Strom erregte Erwärmung vermindert wurde, wenn die Spiralen in gleichem und verstärkt, wenn sie in entgegengesetztem Sinne verbunden waren, und konnte daraus über die Abhängigkeit elektrischer Ströme von der Form ihrer Schliessung einen empirischen Satz ableiten, der sich bis jetzt in allen Fällen bewährt hat. Dieser Satz heisst: Zwei einander parallel naheliegende Theile des Schliessungsbogens der Batterie wirken auf einander. Der Entladungsstrom wird durch diese Einwirkung geschwächt, wenn er beide Theile in gleicher, und verstärkt, wenn er sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft. Jede Biegung des Schliessungsbogens, in welcher der erste Fall statt findet, wurde als N-Form, jede, in welcher der zweite, als U-Form bezeichnet.

Die Ursache dieser Aenderungen des Stromes ergab sich aus frühern Erfahrungen. Ich hatte nachgewiesen, dass ein Strom in seinem Gange verzögert werden kann durch einen Nebenstrom, den er in einem neben dem Hauptdrathe liegenden Drathe erregt. Dabei war die Richtung des Nebenstromes allein durch die des Hauptstromes bestimmt und konnte nicht ohne diese geändert werden. Wenn aber ein Nebenstrom in dem Drathe selbst erregt wird, der den Haupt-

1) Poggendorff's Annal. 50. 19.
2) Daselbst 69. 330.
3) Daselbst 81. 428.

strom leitet, so wird durch eine verschiedene Biegung dieses Drathes die Richtung des Nebenstromes gegen die des Hauptstromes geändert. Es wurde daher folgerichtig die Verzögerung des Hauptstromes durch jene frühere Erfahrung erklärt, und die neue Erfahrung, einer Beschleunigung des Stromes, der veränderten Richtung des Nebenstromes zugeschrieben[1]). Dadurch war die Aenderung eines Stromes durch die Form seiner Schliessung auf das Engste mit dem Nebenstrome verknüpft, und alle Folgerungen aus dieser Annahme sind bestätigt worden. So war die Geringfügigkeit der Aenderung des Hauptstromes (dieser stets gemessen durch seine verständlichste Wirkung, die Erwärmung) durch den Umstand erklärlich, dass der Nebenstrom nur bis in die Belegungen der Batterie, und daher nicht in sich zurücklaufen konnte. Es war vorauszusehn, dass bei gestattetem Kreislaufe die Aenderung eines Stromes viel bedeutender sein würde. Durch Induction kann ein Strom an einer Stelle eines vollständig metallischen Kreises erregt werden, und dieser Strom erregt im Kreise einen Nebenstrom, der in sich zurückläuft. An allen inducirten Strömen ist daher die Abhängigkeit von der Form ihrer Schliessung sehr gross, und dadurch die Gelegenheit gegeben zur Prüfung der Annahme, dass der Grund der Stromänderung in einem in der Schliessung erregten Nebenstrome zu finden sei. Faraday hat nämlich bei der Entdeckung des Nebenstroms im Schliessdrathe einer voltaischen Kette, der bei Unterbrechung des Stromes auftritt und als Extrastrom bezeichnet wird, die merkwürdige Erfahrung gemacht, dass dieser Strom ausbleibt, wenn ein zum Kreise geschlossener Drath dem Schliessdrathe der Kette parallel nahe liegt. Es wird, nach seinem Ausdrucke, der Extrastrom dann auf den naheliegenden Drath übertragen (exp. resear. 1092). Rührt also die Aenderung der Ströme der leydener Batterie bei Formänderung ihrer Schliessungen von einem Extrastrome her, so muss diese Aenderung beseitigt werden können durch Nahelegung eines

1) Poggendorff's Ann. 81. 433.

der Schliessung parallelen geschlossenen Drathes. Dies ist mir bei der Schwächung der Ströme durch die N-Form ihrer Schliessung vollständig gelungen, und dass es bei der Stärkung des Stromes durch die U-Form nur in sehr geringem Maasse gelang, davon habe ich den Grund angegeben und werde unten darauf zurückkommen. Da mir die Stromänderung durch die Schliessungsform das Mittel gab, die relative Richtung der verschiedenen Nebenströme des Batteriestroms zu bestimmen, so habe ich die Erfahrungen über jene Aenderung in einer Abhandlung mitgetheilt, die den Titel führt: Ueber die elektrischen Ströme höherer Ordnung[1]. Die bei dieser Untersuchung angewandten Apparate waren bequem, aber, ihrer Wirkung nach, nicht einfach. Ich brauchte nämlich zur Herstellung der N-Form der Schliessung eine ebene Drathspirale, und zur U-Form zwei solche, an gleichgelegenen Enden verbundene Spiralen, oder eine eigene Vorrichtung, die U-Tafel, auf der ein Drath im Zickzack befestigt war. Die Wirkung dieser Apparate war kräftig und bestimmt, aber sie brachte einige Unklarheit in die Beurtheilung des Mechanismus der Stromänderung. Um diese zu entfernen, fand ich es gerathen, auf jene Versuche mit einfacheren Apparaten zurückzugehn. Es sind im Folgenden zur Formänderung der Stromschliessung, freilich auf Kosten der Bequemlichkeit des Versuches, nur ausgebreitete Dräthe gebraucht worden, und ich bemerke ausdrücklich, dass wenn Drathspiralen erwähnt werden, diese dem Gegenstande der Untersuchung fremd sind, nur zur Erregung des Stromes dienen und, wenn es mir nicht unnöthig erschienen wäre, auch durch gerade Dräthe hätten ersetzt werden können. Es haben sich bei der neuen Anordnung der Versuche die frühern Resultate durchaus bestätigt, dabei aber auch einige Erfahrungen ergeben, die bei der alten Anordnung verborgen blieben, und es gestatten, die Ursache der Stromänderung durch Formänderung der

1) Monatsberichte d. Akad. 1851. Poggend. Ann. 83. 309.

Schliessung bestimmter und anschaulicher anzugeben, als es bisher geschehen ist.

Der innere Nebenstrom eines Drathes.

In jedem geraden Drathe, der einen Strom von kurzer Dauer leitet, wird durch diesen Strom ein Nebenstrom erregt, der zur Unterscheidung der *innere Nebenstrom des Drathes* heissen mag. Seine Stärke wächst mit der Länge des Drathes, und er erhält bei constanter Länge seinen grössten Werth, wenn der Drath dem Strome gestattet, einen Kreislauf zu vollenden. Faraday entdeckte diesen Strom, indem er ein voltaisches Element durch einen ausgebreiteten Kupferdrath von 114 Fuss Länge schloss, und bei der Oeffnung der Kette einen hellen Funken bemerkte, während bei einer Länge des Drathes von einem Fusse der Funke kaum sichtbar war (exp. resear. 1068). Der innere Nebenstrom war hier deshalb so stark, weil er in einem langen Drathe erregt war und durch die Flüssigkeit des Elements und die schmale Luftschicht, die der glänzende Funke durchbrach, in sich zurücklaufen konnte. Tritt, wie man nach Analogie zu schliessen berechtigt ist, auch in dem Schliessungsbogen der leydener Batterie ein innerer Nebenstrom auf, so konnte es nicht auffallen, dass die Wirkung desselben sehr gering ist. Der Strom kann, des die Belegungen trennenden Glases wegen, nicht in sich zurücklaufen, und seine Einwirkung auf die Erwärmung wird deshalb, auch bei grosser Länge der Schliessung, klein bleiben. Dieser Grund der Schwäche des innern Nebenstroms fällt aber fort, wenn an den Schliessungsdrath ein Zweigdrath angelegt wird, da alsdann der in jedem Zweige erregte innere Nebenstrom durch den andern Zweig ablaufen kann. Untersucht man daher die Erwärmung in einem Zweige der Batterieschliessung, so wird sie, bei einiger Länge eines Zweiges, modificirt sowol durch den innern Nebenstrom des Zweiges, dessen Wärme man prüft, wie durch den Strom des andern Zweiges, der durch jenen abläuft. Die vielfachen Störungen des Theilungsgesetzes des Entladungsstroms finden hierin ihre Erklärung, und ich habe, um jenes Gesetz

experimentell aufzuzeigen, mich nur kurzer Zweige bedient, und diese Beschränkung des Versuchs in der angegebenen Weise begründet [1]). Es ist bei der Verzweigung des Schliessdrathes der leydener Batterie die Bedingung für die Entstehung eines starken inneren Nebenstroms, die aus einem Versuche Faraday's hervorgeht [2]), so vollständig vorhanden, dass es eine überraschende, des strengsten Beweises bedürftige, Entdeckung wäre, dass kein innerer Nebenstrom in den Zweigen vorhanden sei. Deshalb schien mir der directe Beweis für das Vorhandensein dieses Stromes in den Zweigen überflüssig, und ich habe ihn erst viele Jahre später gegeben, als er sich mir zufällig in schlagender Weise darbot [3]).

Sehr auffallend lässt sich der innere Nebenstrom mit dem Thermometer an einer Nebenschliessung der leydener Batterie, also an einem sekundären Strome nachweisen. In die Hauptschliessung einer Batterie aus drei Flaschen, jede mit 2,6 Quadratfuss Belegung, wurde eine aus 13 Fuss eines 0,55 Linie dicken Kupferdrathes gewundene ebene Spirale eingeschaltet, dieser eine gleiche Nebenspirale in $1^1/_2$ Linie Entfernung gegenüber gestellt und die letztere durch kurze Kupferdräthe, ein elektrisches Thermometer (dessen Platindrath 0,037 Linie dick, $35^7/_{12}$ Zoll lang war), und endlich durch einen 2,06 Zoll langen, 0,0554 Linie dicken Platindrath geschlossen. Nachdem sechs Thermometerbeobachtungen gemacht waren, wurde der Platindrath ersetzt durch 203 Fuss Telegraphendrath, der aus Kupferdrath von 0,75 Linie Dicke bestehend, mit Guttapercha umpresst war. Dieser Drath war theils an den Wänden des Zimmers, theils auf ausgespannten Seidenschnüren hoch über dem Boden in weiten Windungen geführt, so dass die meisten Theile des-

1) Poggendorff's Annalen 63. 501.

2) Faraday schloss eine voltaische Kette durch einen 132 Fuss langen Drath, an dessen Enden ein kurzer Drath als Zweig angelegt war, in welchem sich eine kleine Lücke befand. Wurde die Kette geöffnet, so ging in dieser Lücke ein Funke über, mit dem der innere Nebenstrom des langen Zweiges abfloss.

3) Monatsberichte d. Akad. 1859. 1. Oben S. 62.

selben ausser Wirkung auf einander blieben. Der kurze Platin- und der lange Kupfer-Drath hatten, wie die Rechnung zeigt, nahe denselben Verzögerungswerth. Dessungeachtet wirkten sie in der Schliessung des sekundären Stromes in so verschiedener Weise, dass der flüchtigste Blick auf das Thermometer entscheiden konnte, ob der eine oder der andere Drath sich in der Schliessung befand. Dies zeigen die folgenden Beobachtungen, bei welchen, zur Messung der Elektricitätsmenge, die Kugeln der Maassflasche 1/2 Linie von einander entfernt waren.

I.

Elektricitätsmenge	4	6	8	10	Einh. d. Lad.
Erwärm. bei Platineinsch.	9,9	20,5	35,4		1,74
Erwärm. b. Kupfereinsch.		6,1	10,7	15,2	0,49

Indem statt des Platindrathes der Kupferdrath zur Einschaltung in die Schliessung benutzt wurde, ist der Strom nahe im Verhältnisse 32 zu 9 geschwächt worden. Dass diese grosse Schwächung durch den inneren Nebenstrom bewirkt wurde, lässt sich unzweifelhaft darthun dadurch, dass sie durch Nebenlegung eines in sich geschlossenen Drathes zum Theile aufgehoben werden kann. Dies ist in den folgenden Versuchen geschehn, in welchen, bei Benutzung einer um die Hälfte geringeren Drathlänge und bei der Lage derselben auf dem Boden des Zimmers, die Schwächung kleiner war, aber mit Sorgfalt bestimmt wurde.

Zwei Stücke des Telegraphendrathes von der angegebenen Beschaffenheit, jedes 100¼ Fuss lang, wurden mit seidenen Bändern an einander gebunden, und an den Wänden und auf dem Fussboden des Zimmers herumgelegt, so dass ihre vier Enden an der Schliessung des sekundären Stromes zu liegen kamen. Diese Schliessung wurde zuerst durch 1 Zoll des 0,0554 Linie dicken Platindrathes vollzogen, dann durch den Kupferdrath von 100¼ Fuss Länge, und die Erwärmung beobachtet; zuletzt wurde die zweite Beobachtung wiederholt, während die Enden des zweiten Stückes Kupferdrath mit einander verbunden waren.

II.

	Schliessung durch				
	Platin-drath.	Kupferdrath.		denselben bei geschloss. Nebendrath.	
Elektricitäts-Menge.	Erwärmung:				
6	22,5	12,6	12,4	17,8	17,8
8	38,5	22,1	22,8	30,0	30,8
10	63,3	34,2	34,2	48,3	48,1
Einh. d. Ladung	1,86	1,04		1,45	
Verhältniss	9	5		7	

Durch Vertauschung des Platindrathes mit dem ihm gleichwerthigen Kupferdrathe wurde der Strom von 9 zu 5 geschwächt, und der geschwächte Strom durch Schliessung des neben dem Kupferdrathe liegenden Drathes wiederum zu 7 gestärkt. Dass er seinen ersten Werth 9 nicht erreichte, also die Wirkung des innern Nebenstromes durch den Nebendrath nicht gänzlich aufgehoben wurde, kann nicht auffallen, da der Nebendrath von dem Drathe, dessen Wärme untersucht wurde, an den günstigsten Stellen 1 ½ Linie (die doppelte Dicke der Guttaperchahülle) und sonst noch weiter entfernt lag. Es lässt sich hier leicht nachweisen, was für sich klar ist und ich früher auf andere Weise gezeigt habe, dass die den erregenden Strom stärkende Wirkung des Nebendrathes durch einen, in diesem Drathe erregten, Nebenstrom ausgeführt wird. Als bei der Einschaltung des langen Kupferdrathes die Enden des Nebendrathes nicht mit einander verbunden, sondern nur einander bis etwa 0,1 Linie genähert waren, gab die Elektricitätsmenge 10 eine Erwärmung von 46,2 und 46,8, also nicht viel geringer, als bei vollkommenem Schlusse des Nebendrathes, wo sie 48,2 betrug. Zugleich aber erschien in der Lücke des Nebendrathes ein glänzender Funke, als Zeichen des kräftigen im Nebendrathe erregten Stromes.

Die Verzögerung, die ein Strom kurzer Dauer in einem geraden Drathe durch den innern Nebenstrom erfährt, dauert fort, wenn durch Biegung zwei entfernte Theile des Drathes einander nahe gebracht werden. Dies zeigt sehr auffallend

ein Versuch des folgenden Abschnittes. Würde aber auch jene Verzögerung durch die Biegung verringert werden, weil bei der Erregung des innern Nebenstromes in einem Stücke des Drathes ihm ein anderes Stück desselben Drathes nahe liegt, so könnte Dies eine nach der Art der Biegung verschiedene Aenderung des Stromes nicht zur Folge haben. Da nämlich nur die Wirkung in Betracht kommen kann, welche der Nebenstrom auf den erregenden Strom äussert, der mit ihm in demselben Drathstücke zusammentrifft, die Stärke und Richtung des Nebenstromes aber gegen den ihn erregenden Strom an jeder Stelle dieselbe bleibt, der Drath mag durch die Biegung die N- oder U-Form erhalten haben, so kann der innere Nebenstrom allein nicht die Ursache der verschiedenen Aenderung eines Stromes nach der Form seiner Schliessung sein.

Der äussere Nebenstrom eines Drathes.

Wenn der Leitdrath eines Stromes kurzer Dauer so gebogen wird, dass zwei Stücke desselben einander nahe kommen, so inducirt jedes Stück in dem andern Stücke einen Nebenstrom, den wir den *äussern Nebenstrom des Drathes* nennen wollen. Dieser inducirte Strom ist desto stärker, je länger die auf einander einwirkenden Drathstücke sind, je mehr sie einander parallel liegen und je kleiner der sie trennende Zwischenraum ist. Während also der innere Nebenstrom bei einem Drathe jeder Form auftritt, kommt der äussere Nebenstrom nur in einem Drathe zu Stande, der so gelegt ist, dass zwei entfernte Theile desselben auf einander wirken.

Der äussere Nebenstrom verbreitet sich von jeder Stelle, an der er erregt wurde, durch den ganzen Leitungsdrath und vollendet, wenn dieser geschlossen ist, einen Kreislauf. Der Strom übt also in jedem Drathstücke eine Wirkung aus auf das diesem parallele Drathstück und zweitens auf den Strom, der mit ihm an derselben Stelle zusammentrifft. Die Fernwirkung ist nicht nur viel schwächer, als die zweite Wirkung, sondern sie bleibt auch bei einer Formänderung

des Schliessungsdrathes dieselbe, so dass wir sie nicht weiter zu beachten brauchen. Die Richtung des äussern Nebenstroms gegen den ihn erregenden Strom, mit dem er an derselben Stelle des Drathes zusammentrifft, ist von der Biegung des Drathes abhängig. Wenn er bei der N-Form des Drathes dem erregenden Strome gleichlaufend begegnet, so fliesst er ihm bei der U-Form entgegen. Es wird also der äussere Nebenstrom merklich werden können in den Aenderungen, welche ein Strom irgend einer Ordnung dadurch erfährt, dass sein Leitungsdrath in verschiedene Formen gelegt wird. Wie Dies früher am Hauptstrome und den Strömen zweiter bis fünfter Ordnung mit Hülfe zusammengesetzter Vorrichtungen gezeigt wurde, lässt es sich mit geraden Dräthen an jedem Nebenstrome sehr auffallend nachweisen.

Es wurde, wie bereits oben geschehn ist, ein sekundärer Strom durch zwei 13 Fuss lange Kupferspiralen erregt. Die Schliessung des Stromes wurde durch die beiden an einander gebundenen Telegraphendräthe bewirkt (jeder $100\frac{1}{4}$ Fuss lang), so dass der Strom beide Dräthe hinter einander durchlaufen musste. Hierzu wurde ein kurzer Verbindungsdrath (Telegraphendrath, 2′ 8″ lang) benutzt, der von den vier Enden des Doppeldraths zwei entweder entgegengesetzt oder gleich gelegene Enden mit einander verband und so die N- oder die U-Form des Doppeldraths herstellte. Ein empfindliches Thermometer gab bei verschiedener Ladung von drei Flaschen die folgenden Erwärmungen an.

III.

Elektricitäts-Menge	6	8	10	12	Einheit d. Ladung
	Erwärmung.				
Schliessung N-Form		5,2	8,4	11,3	0,24
Schliessung U-Form	16	27	42		1,29

Indem der Doppeldrath zuerst mit entgegengesetzt, dann mit gleich gelegenen Enden in die Schliessung eingeschaltet wurde, ist der Strom im Verhältnisse 3 zu 16 verändert, sein Werth auf das Fünffache gebracht worden. Dass mit

der Erwärmung auch die mechanische Wirkung des Stromes eine ausserordentliche Vergrösserung erfuhr, wird unten gezeigt werden.

Rührte die Schwächung des Stromes bei der N-Form von einem in der Schliessung erregten Nebenstrome her, so musste sie beseitigt werden durch Nahelegung eines gutleitenden geschlossenen Drathes an den Doppeldrath. Es war an dem Doppeldrathe ein mit Guttapercha bekleideter 100 1/4 Fuss langer, 5/7 Linie dicker Kupferdrath festgebunden, der hier als Nebendrath bezeichnet werden soll, und dessen Enden bisher frei lagen. Diese Enden wurden mit einander verbunden und der Strom geprüft bei N-Form des Doppeldrathes. Ich füge den Beobachtungen die in III bei ungeschlossenem Nebendrathe erhaltenen Werthe bei. Die Beobachtungen bei Einschaltung des 203 Fuss langen auf Seidenschnüren ausgebreiteten Telegraphendrathes lassen beurtheilen, welche Wirkung der geschlossene Nebendrath auf den durch die N-Form geschwächten Strom hatte.

IV.

Elektricitäts-Menge.	Schliessung durch einfachen Drath 203 Fuss.	Doppeldrath 203 Fuss N-Form	Doppeldrath 203 Fuss N mit Nebendrath.
	Erwärmung.		
8	10,3	5,2	14,8
10	15,6	8,4	22,2
12	21,6	11,3	31,7
Einheit d. Lad.	0,47	0,24	0,67
Verhältniss	100	51	143

Hier tritt die merkwürdige Erfahrung auf, dass der Strom bei N-Form und geschlossenem Nebendrathe nicht nur stärker ist, als bei N-Form ohne Nebendrath, sondern stärker als bei Einschaltung des einfachen ausgebreiteten Drathes, und alle spätern Versuche gaben Dasselbe. Der geschlossene Nebendrath hebt nicht nur die Schwächung des Stromes auf, welche durch die N-Form bewirkt wird, sondern seine Wirkung geht, bei günstiger Lage, darüber hinaus.

Als der geschlossene Nebendrath benutzt wurde, während der Doppeldrath in U-Form lag, gaben dieselben Ladungen, welche in Reihe III die Erwärmungen 16 27 42 geliefert hatten, die Werthe 15 26 41. Der Strom war also durch den geschlossenen Nebendrath in geringem Maasse geschwächt worden. Es ist darauf kein Gewicht zu legen, weil die Schwächung offenbar zufällig war und daher rührte, dass der Nebendrath nicht an allen Stellen eine gleiche Lage und Entfernung von jedem Strange des Doppeldraths hatte. Der Nebendrath wirkt durch den in ihm erregten Nebenstrom, und wenn er eine durchgängig gleiche Lage gegen die beiden Schenkel des U bewahrt, so kann in ihm kein Strom erregt werden, weil der Drath die Induction von zwei entgegengesetzt gerichteten Strömen zugleich erfährt.

Während also ein geschlossener Nebendrath auf einen elektrischen Strom, der in einem N-förmigen Drathe fliesst, so kräftig einwirkt, dass er diesen Strom stärker macht, als er in dem gerade ausgestreckten Drathe sein würde, bleibt der Nebendrath auf einen im U-förmigen Drathe fliessenden Strom gänzlich wirkungslos. Die zweite Thatsache, zwar nicht im Geringsten auffallend, ist zu merken, damit der gebräuchliche Ausdruck, ein Nebenstrom werde auf einen geschlossenen Nebendrath übertragen, richtig aufgefasst werde. Die Verstärkung, die der beobachtete Strom durch die U-Form erfährt, ist Folge eines in seinem Leitdrathe erregten Nebenstroms, und dieser Strom bleibt ungeändert, wenn auch ein geschlossener Drath ihm nahe liegt. Die Aenderung des Nebenstroms könnte nur durch einen neuen, im Nebendrathe erregten, Nebenstrom geschehn und findet daher nicht statt, wenn diese Erregung ausbleibt.

Die Grösse der Stromänderung durch Aenderung der Schliessungsform hängt hauptsächlich ab von der Länge des Theils der Schliessung, der die Formänderung erfährt im Verhältnisse zu der ganzen Länge der Schliessung. Geringern Einfluss äussern Material und Dicke der Schliessung, wie die folgenden Versuche lehren. Die bisher gebrauchte Spirale, aus 13 Fuss eines 0,55 Linie dicken Kupferdrathes

bestehend, wurde aus der sekundären Schliessung entfernt und durch eine gleichfalls 13 Fuss lange Spirale ersetzt, die aus Platindrath von 0,076 Linie Dicke bestand. Diese Spirale wurde der Hauptspirale, durch welche der Batteriestrom ging, möglichst nahe gestellt, um den erregten Strom stark zu erhalten. Die übrigen Theile der sekundären Schliessung waren die früher gebrauchten, es wurden darin die folgenden Erwärmungen beobachtet.

V.

Elektricitäts-Menge.	Schliessung durch einfach. Drath 203 Fuss	Doppeldrath 203 Fuss N-Form.	N mit Nebendrath.	U-Form.	U mit Nebendrath.
	Erwärmung.				
8	9,3	5,0	12,4	20,0	20,8
10	14,3	7,0	19,1	31,2	30,7
12	20,7	10,6	28,6	44	43,5
Einh. d. Lad.	0,43	0,22	0,58	0,93	0,93
Verhältniss	100	51	135	216	216

Die Schwächung des Stromes durch die N-Form ist hier eben so gross, wie früher, aber die Verstärkung durch die U-Form ist geringer, so dass das Verhältniss vom schwächsten zum stärksten Strome hier nur 4 zu 17 beträgt, während es früher 3 zu 16 war. Auch hier ist die merkwürdige Erscheinung deutlich, dass der Strom bei N-Form seiner Schliessung und einem naheliegenden geschlossenen Drathe stärker ist, als bei ausgestreckter Schliessung ohne Nebendrath.

Als der Schliessungsbogen des Stromes verlängert wurde, sein der Aenderung unterworfener Theil aber der früher gebrauchte war, erfolgten geringere, aber nicht weniger deutliche Aenderungen des Stromes. Die Spirale, in welcher der Strom erregt wurde und die bisher aus 13 Fuss Drath bestand, wurde durch eine Spirale ersetzt, die aus 53 Fuss eines $^2/_3$ Linie dicken Kupferdrathes gewunden war. Eine gleiche Spirale kam in die Hauptschliessung und wurde von jener 2 Linien entfernt. Bei den verschiedenen Formen des,

in der Schliessung des sekundären Stromes befindlichen, Kupferdrathes von 203 Fuss Länge erhielt der Strom die folgenden Werthe.

VI.

Schliessung durch	einfachen Drath.	den Doppeldrath N-Form.	N mit Nebendrath.	U-Form.	U mit Nebendrath
Stromverhältniss	100	83	104	129	130

Das Verhältniss des schwächsten Stromes zum stärksten war hier nur 9 zu 14. Da aber der Strom, in der grossen Spirale erregt, viel stärker als früher war, so konnte hier der Versuch, die Aenderung des Stromes ohne Thermometer aufzuzeigen, mit mässigen Batterieladungen ausgeführt werden. In der Schliessung wurde ein Eisendrath, 0,053 Linie dick, 1 Zoll lang, angebracht und der Doppeldrath in N-Form gebraucht. Die Elektricitätsmenge 48, aus 5 Batterieflaschen entladen, lieferte einen Strom, der den Eisendrath dunkel und unverletzt liess. Als aber der Doppeldrath durch Umlegen des Verbindungsdrathes seiner Enden die U-Form erhielt, brachte der durch die geringere Elektricitätsmenge 46 erregte Strom den Eisendrath in helles Glühen und zerstörte ihn gänzlich.

Will man sich mit dem Eindrucke auf das Auge begnügen, so ist die Stromänderung noch einfacher nachzuweisen. Es wurde mit Hülfe der Spiralen von 13 Fuss Drathlänge ein Strom erregt durch die in drei Flaschen gesammelte Elektricitätsmenge 6. In der Schliessung des sekundären Stromes, welche den 203 Fuss langen Doppeldrath enthielt, war eine Lücke von 0,1 Linie angebracht. Der Funke beim Uebergange des Stromes durch diese Lücke war lichtschwach, wenn der Doppeldrath in N-Form lag, hingegen glänzend, wenn er die U-Form erhalten hatte.

Es ist noch ein Versuch anzuführen, um eine Folgerung aus den frühern Versuchen direct aufzuzeigen. Bei Einschaltung eines gegebenen Drathes in die Bahn eines Stromes erhält man zwar den Strom am stärksten, wenn der

Drath in die U-Form gelegt wird, aber sein Werth bleibt stets kleiner, als er durch einen geraden Drath, selbst von grösserem Verzögerungswerthe erhalten wird, wenn die Länge des letzten gegen die des gegebenen Drathes hinlänglich klein genommen wird. Es wurde ein Strom mit den beiden Kupferspiralen von 13 Fuss Drathlänge erregt, in seine Schliessung der doppelte Kupferdrath in beiden Formen, und zuletzt ein Platindrath 0,0554 Linie dick, 5,79 Zoll lang eingeschaltet.

VII.

Elektricitäts-Menge in 3 Flaschen.	Schliessung durch Kupferdrath N-Form.	in U-Form.	Platindrath.
	Erwärmung.		
6	3,0	16,3	20,3
8	5,4	28,1	36,1
10	8,7	43,0	55,8
Einheit der Ladung	0,25	1,32	1,69

Die Werthe des Stromes bei Einschaltung des 203 Fuss langen Kupferdrathes in N- und U-Form verhielten sich wie 7 zu 37, also nahe wie in Versuch III bei derselben Anordnung des Apparates, wo dies Verhältniss 3 zu 16 betrug. Aber der grösste Werth des Stromes war noch bedeutend kleiner, als er erhalten wurde, wenn statt des Kupferdrathes der Platindrath in die Schliessung gebracht war, obgleich letzterer mit 570 Fuss Kupferdrath gleichwerthig war. Es rührt Dies, wie sich zeigen wird, daher, dass die Länge des Platindrathes, von weniger als 6 Zollen, gegen die Länge des Kupferdrathes sehr klein, und deshalb sein innerer Nebenstrom geringer war, als der im Kupferdrathe bei der U-Form zurückgebliebene Nebenstrom.

Ursache der Abhängigkeit des Stromes von der Form seiner Schliessung.

Alle früher von mir veröffentlichten, wie die hier mitgetheilten Versuche über die Stärke eines Stromes bei verschiedener Form seiner Schliessung haben dasselbe Resultat

gegeben, das sich für den empirischen Bedarf sehr einfach aussprechen lässt. Wenn zwei Theile des Leiters eines Stromes von kurzer Dauer nahe an einander gelegt werden, so ist der Strom schwächer, als bei gerade ausgestrecktem Leiter, im Falle er in beiden Theilen mit gleicher Richtung, und stärker, wenn er darin mit entgegengesetzter Richtung fliesst. Ein dem Leiter naheliegender, in sich geschlossener Drath ändert, nach Maassgabe seiner Schliessung, den Strom im Leiter, im Falle dass im Nebendrathe selbst eine Elektricitätsbewegung statt findet. Ist eine solche Bewegung nicht vorhanden, so bleibt der Nebendrath wirkungslos.

Die Ursache dieser, ihrer Grösse nach, sehr verwickelten Aenderungen eines Stromes war durch Versuche gegeben, die bei ihrer Auffindung bereits vorlagen. Faraday hatte entdeckt, dass bei Unterbrechung eines voltaischen Stromes im Stromleiter ein neuer Strom auftritt, der inducirte Strom oder Nebenstrom, und hatte eine Wirkung desselben untersucht, den Glanz des Funkens, mit dem er übergeht. Es hatte sich ergeben, dass diese Wirkung am stärksten ist, wenn der Leitungsdrath schraubenförmig aufgewunden, schwächer, wenn der Drath gerade ausgestreckt ist, und dass sie ausbleibt, wenn er in der Mitte umgebogen, also in U-Form gelegt wird (exp. resear. 1096). Die Erwärmung durch einen Strom der leydener Batterie zeigt genau das entgegengesetzte Verhalten: die schwächste Erwärmung im Schliessungsdrathe, wenn er in N-Form gelegt, eine stärkere, wenn er gerade ausgestreckt war, die stärkste, wenn er die U-Form erhalten hat. Dieser Widerspruch löst sich leicht. Während in Faraday's Versuchen nur die Wirkung des erregten Nebenstromes beobachtet wird, tritt in den Versuchen an der leydener Batterie die Wirkung des erregten zu der des erregenden Stromes hinzu. Nun ist es durch Versuche erwiesen, dass ein Nebenstrom von bestimmter Richtung den erregenden Strom in seinem Gange aufzuhalten, die durch diesen bewirkte Erwärmung zu vermindern vermag, und es war nur die Annahme zu machen, dass ein Nebenstrom von der entgegengesetzten Richtung den

erregenden Strom beschleunigt, um die Aenderung eines Stromes durch die Formänderung seiner Schliessung mit den frühern Erfahrungen in Einklang zu bringen. Bei dieser Erklärung war von den beiden Theilen des Nebenstromes, der mit dem erregenden Strome in demselben Drathe fliesst, nur der Theil in Betracht gezogen worden, der durch die Biegung des Drathes eine veränderte Richtung erhält, und es war dadurch die Art, wie er die Beschleunigung im U-Drathe bewirkt, unklar geblieben. Wenn auch der andere, bisher vernachlässigte, Theil des Nebenstroms bei der Ableitung der Erscheinung hinzugezogen wird, so ergibt sich die Beschleunigung des Stromes durch die U-Form als eine nothwendige Folge der Verzögerung, die er in einem gerade ausgestreckten Drathe erfährt, und man gelangt zu folgender einfachen Erklärung der hier betrachteten Erscheinungen.

Es ist gezeigt worden, dass in einem ausgestreckten Leiter, durch den man einen elektrischen Strom hindurchgehen lässt, ein *innerer* Nebenstrom erregt wird, der den Gang des Stromes verzögert, und zwar um so mehr verzögert, je stärker der Nebenstrom ist. Der erregende Strom besteht also im Leiter eine längere Zeit, als er bestehn würde, wenn der Nebenstrom fehlte. Können wir den innern Nebenstrom schwächen, so wird der erregende Strom schneller fliessen, und langsamer, wenn wir ihn verstärken können. Nur der erste Fall ist ausführbar, wenn der Stromleiter gerade ausgestreckt bleiben soll. Ein vollkommen geschlossener Drath dem Leiter nahe gelegt, schwächt den innern Nebenstrom, und damit wird der Strom im Leiter verstärkt. Darf hingegen der Leiter umgebogen werden, so lassen sich, ohne Anwendung des Nebendrathes, beide Fälle ausführen. Da nämlich jeder Theil des Leiters in einem ihm nahetretenden Theile desselben Leiters einen *äussern* Nebenstrom erregt, so kann durch die Biegung des Leiters bewirkt werden, dass dieser äussere Nebenstrom dem innern Nebenstrome an jeder Stelle des Leiters entweder mit gleicher oder mit entgegengesetzter Richtung begegnet. Trifft der

äussere Nebenstrom den innern mit gleicher Richtung, so fügt er sich ihm hinzu, trifft er ihn mit entgegengesetzter, so hebt er ihn theilweise auf, weil zwei Ströme derselben Ordnung mit entgegengesetzter Richtnng nicht in demselben Stücke eines Leiters sich bewegen können. Die Aufhebung des innern Nebenstromes ist eine nur theilweise, weil der äussere Nebenstrom, aus grösserer Entfernung erregt, stets schwächer ist, als der innere Nebenstrom. Man sieht nun sogleich, dass in einem N-förmigen Drathe der äussere Nebenstrom den innern mit gleicher Richtung trifft, aber mit entgegengesetzter in einem U-förmigen. Es wird also ein Hauptstrom, der in einem N-förmigen Drathe fliesst, schwächer, der in einem U-förmigen fliesst, stärker sein müssen, als in dem gerade ausgestreckten Drathe, und diese Aenderungen des Stromes folgen unmittelbar aus den zwei Sätzen: ein Nebenstrom, der mit dem ihn erregenden Strome in demselben Drathe fliesst, verzögert den Gang dieses Stromes; und: zwei Nebenströme in demselben Drathe wirken auf den erregenden Strom mit ihrer Summe oder mit ihrer Differenz, je nachdem sie eine gleiche oder eine entgegengesetzte Richtung verfolgen.

Diese Ableitung der Erscheinungen wird durch die Versuche kräftig unterstützt. Nach der gegebenen Vorstellung sind in einem N-förmigen Leiter ausser dem erregenden Strome zwei Nebenströme, von welchen der stärkere, der innere Nebenstrom, schon in dem Leiter vorhanden war, als er gerade ausgestreckt war. Legt man einen geschlossenen Drath dem N-förmigen Leiter nahe, so müssen beide Nebenströme geschwächt werden, und der erregende Strom, der durch die N-Form geschwächt war, wieder stärker erscheinen. Dies wurde in meinen frühern Versuchen gezeigt, in welchen zur Schwächung des Stromes die Spiralform des Leiters gebraucht war; aber der günstigste Fall bestand darin, dass der geschwächte Strom durch den geschlossenen Nebendrath beinahe auf die Stärke gebracht wurde, die er vor der Schwächung besessen hatte. So betrug der Werth des Stromes 100 bei geradem Schliessungsdrathe, 74 als

dieser zu einer cylindrischen Spirale gewunden war, und wurde durch die Näherung einer zweiten Spirale auf 98 gehoben [1]). In der vorliegenden Abhandlung geht, was nicht vorauszusehn war, die Wirkung des Nebendrathes viel weiter. So war z. B. im Versuche IV der Werth des Stromes bei ausgebreitetem Drathe 100, bei N-förmigem 51, und durch den geschlossenen Nebendrath wurde der letzte Werth auf 143 gebracht. Es geschah Dies durch die sehr günstige Lage des Nebendrathes dicht an den Schenkeln des N-Drathes. Der Nebendrath hatte nicht nur die Wirkung des äussern Nebenstroms aufgehoben, der die Schwächung des Stromes durch die N-Form bewirkte, sondern ferner einen Theil des innern Nebenstroms unwirksam gemacht, dem die Schwächung des Stromes im geraden Drathe zuzuschreiben ist.

In einem U-förmigen Drathe wird an jeder Stelle ein Theil des innern Nebenstroms durch den äussern aufgehoben, und dadurch die Verstärkung des erregenden Stromes bewirkt. Ein geschlossener Drath in gleicher Lage und Entfernung von beiden Schenkeln des U hat keine Wirkung, weil in ihm nachweislich keine Elektricitätsbewegung Statt hat. Liegt der Drath dem einen Schenkel näher als dem andern, so führt er einen, wenn auch sehr schwachen Strom, und seine Wirkung kann entweder den einen oder den entgegengesetzten Erfolg haben. Nach dem allgemeinen Satze nämlich, dass die Induction in einem Leiter geschwächt wird durch die Nähe eines geschlossenen Drathes, muss in den Schenkeln des U der innere und äussere Nebenstrom geschwächt werden, der innere aber weniger als der äussere. Von dem Verhältnisse beider Ströme zu einander, wie von dem Werthe ihrer Schwächung hängt es ab, ob die Differenz beider Ströme kleiner oder grösser ist, als sie vor Anlegung des Nebendrathes war. Im ersten Falle würde der Nebendrath den erregenden Strom im U-Drathe stärken, im zweiten schwächen. In der That sind in meinen Ver-

1) Poggendorff's Ann. 83. 332. Elektricitätslehre 2. 339.

suchen beide Aenderungen des Stromes vorgekommen, sie waren aber stets so unbedeutend, dass ich kein Gewicht auf sie gelegt und es nicht der Mühe werth gehalten habe, ihren Betrag aus einer grössern Zahl von Beobachtungen genau zu ermitteln.

Eine fernere Bestätigung der gegebenen Erklärung liegt in Folgendem. Gleichwerthig werden zwei Dräthe genannt, die einzeln zum Schliessungsbogen einer leydener Batterie hinzugesetzt, die Erwärmung ungeändert lassen, die der Entladungsstrom an einer constanten Stelle des Bogens hervorbringt. Bei freier Verfügung über Metall und Dicke der Dräthe lassen sich ihre Längen beliebig verschieden machen. Setzt man zwei solche Dräthe zum Schliessungsbogen eines sekundären Stromes hinzu, so gibt, bei genügendem Unterschiede der Längen beider Dräthe, nicht nur der kürzere Drath einen stärkern Strom als der lange, sondern dies ist noch der Fall, wenn der lange Drath in U-Form gelegt, der Strom darin also zu seiner grössten Stärke gebracht worden ist. Es folgt Dies daraus, dass der innere Nebenstrom im langen Drathe durch den äussern Nebenstrom niemals ganz aufgehoben werden kann, und man dem innern Nebenstrome im kurzen Drathe durch Beschränkung seiner Länge immer einen kleinern Werth zu geben vermag, als der zurückbleibende Theil des Nebenstroms im langen Drathe besitzt. Hiervon ist in Versuch VII ein schlagendes Beispiel gegeben worden, indem der weniger als 6 Zoll lange Platindrath einen merklich stärkern Strom gab, als der 203 Fuss lange in U-Form gelegte Kupferdrath, obgleich der Platindrath nach der Rechnung mehr als den doppelten Verzögerungswerth des Kupferdrathes besass.

Der Grund der Aenderung eines Stromes durch Formänderung seiner Schliessung lässt sich mit wenig Worten anschaulich machen. In einem Drathe, er sei gestaltet wie er wolle, wird ein Strom kurzer Dauer in seinem Gange aufgehalten durch einen Nebenstrom, den jener in der Masse des Drathes erregt. Der Nebenstrom und damit die Verzögerung des erregenden Stromes ist am stärksten, wenn

der Drath die N-Form hat, wo der Nebenstrom aus zwei Theilen besteht, die zusammenwirken, schwächer, wenn er gerade ausgestreckt ist, weil dann nur der eine Theil des Nebenstroms vorhanden ist, und am schwächsten, wenn er in U-Form gelegt worden, wo die beiden Theile des Nebenstroms einander entgegenwirken.

So einfach hier die Rückwirkung des Nebenstroms auf den ihn erregenden Strom auftritt, indem mit der Stärke des in dem Stromleiter selbst erregten Nebenstroms auch die Verzögerung des erregenden Stromes zunimmt, so verwickelt wird sie, wenn ein zweiter Nebenstrom in einem neben dem Leiter liegenden Drathe erregt wird. Ich habe früher in vielen Beispielen die merkwürdige Thatsache aufgezeigt, dass der durch seine Leitung geschwächte Nebenstrom eine grössere Verzögerung hervorbringt, als der ungeschwächte, und bei zunehmender Verlängerung des Nebendrathes die Wirkung auf den erregenden Strom ein Maximum erreicht, so dass man stets zwei verschiedene Längen des Nebendrathes durch den Versuch finden kann, bei welchen der erregende Strom denselben Werth erhält[1]).

---

1) Zum Beispiel: bei Einschaltung von 2,4 und 384,5 Fuss, von 19,7 und 39,4, von 4,8 und nahe 187 Fuss eines 0,156 Lin. dicken Neusilberdrathes in die Nebenschliessung (Elektricitätslehre 2. 302).

(Schluss des vierten Abschnittes.)

Wirkung des elektrischen Ventils auf die Nebenströme der Batterie.

Ablenkung der Magnetnadel durch die Nebenströme der leydener Batterie.*

Nachdem Faraday die beiden einander entgegengerichteten Inductionsströme beim Schliessen und Oeffnen der voltaischen Kette entdeckt hatte, ging er an den Versuch, eine Induction durch die Entladung einer leydener Batterie zu erregen. Er erwartete schwerlich einen Erfolg; denn als er solchen in der Magnetisirung einer Nadel wirklich erhielt, schrieb er ihn der ungenügenden Isolirung des Hauptdrathes vom Nebendrathe zu, und erklärte es für unmöglich, die beiden entgegengesetzten Wirkungen von einander zu trennen, die beim Beginnen und Aufhören der Entladung statt finden. Wenn diese Wirkungen, wie er annahm, gleichzeitig auftreten, so müssen sie sich aufheben, und es blieb keine Hoffnung, sie einzeln aufzufinden (exper. resear. 24, 25). Durch Marianini's, Henry's und meine Versuche wurde indess gezeigt, dass der Nebenstrom der leydener Batterie eine Stahlnadel magnetisirt, einen Drath erwärmt, physiologische und elektroskopische Wirkungen ausübt; es war damit erwiesen, dass die vielen Partialströme, die den Nebenstrom bilden, in der Zeit nach einander fliessen, und dass der Theil von ihnen, der mit dem Hauptstrome gleiche Richtung besitzt, schneller abfliesst als der andere, der die entgegengesetzte Richtung verfolgt. Von Henry und mir wurde deshalb dem Gesammtnebenstrome eine dem Hauptstrome gleiche Richtung beigelegt. Dem Nebenstrome eine bestimmte Richtung zuzuschreiben, ist unumgänglich nöthig, um den Zusammenhang der Erscheinungen bei der Verei-

---

* Poggendorff's Ann. 120. 513. (1863).

nigung mehrer Nebenströme aufzufassen. Zwei gleiche Gesammtnebenströme fügen sich zu einander, wenn sie gleichgerichtet sind, und heben einander auf, wenn sie entgegengerichtet sind, ebenso wie es zwei einfache Ströme thun, deren Partialströme alle gleiche Richtung haben. — Was Faraday dem Nebenstrome im Allgemeinen beigemessen hat, tritt in einem besondern Falle ein. Eine unvollkommene Wirkung des Stromes ist die Ablenkung der Magnetnadel, welche nur die in den einzelnen Partialströmen bewegte Elektricitätsmenge, nicht die Geschwindigkeit ihrer Bewegung angibt, und erst beginnt, nachdem eine relativ lange Zeit nach der Strombewegung verflossen ist. Hier wirken die in gerader Zahl vorhandenen verschiedenen Partialströme wirklich als gleichzeitige und die Gesammtwirkung aller dieser Ströme, von welchen je zwei eine gleiche Elektricitätsmenge und entgegengesetzte Richtung besitzen, muss nothwendig Null sein. Die Magnetnadel bleibt in Ruhe und die Ablenkung steht als Prüfungsmittel des Nebenstromes noch hinter der Magnetisirung zurück; denn so wenig wir auch aus dieser zu schliessen verstehn, so zeigt sie doch das Dasein eines Stromes an, die Ablenkung nicht einmal dies. Es ist deshalb öfter versucht worden, die Partialströme Einer Richtung des Nebenstroms abzuschwächen und dadurch die der entgegengesetzten Richtung zur Wirkung zu bringen. Aber diese Versuche sind bisher entweder ganz erfolglos oder von unsicherm, zweifelhaftem Erfolge gewesen. Buff hat die Benutzung des Stromes der leydener Batterie aufgegeben, die vom Conductor einer Elektrisirmaschine auf eine Kugel schlagenden Funken als erregenden Strom benutzt, und so Ablenkungen der Magnetnadel durch den Nebenstrom und ein merkwürdiges Resultat über das Auftreten des Nebenstroms im Hauptdrathe erhalten, das ich im Verlaufe dieser Abhandlung näher angeben werde.

Es ist mir jetzt gelungen, Ablenkungen der Magnetnadel von den verschiedenen Nebenströmen der leydener Batterie zu erhalten durch ein so kräftig wirkendes Verfahren, dass diese Versuche jederzeit mit vollkommener Si-

sherheit des Erfolges angestellt und mit einander verglichen werden können. Dadurch haben sich einige räthselhafte Erscheinungen aufhellen lassen, die der Nebenstrom bietet, aber freilich auch neue Räthsel geknüpft, die noch ihre Lösung erwarten.

Magnetische Ablenkung durch den Strom in einem Nebendrathe.

1. Der von Neeff 1838 erfundene[1]) selbstbewegliche Magneto-Inductionsapparat, der von Ruhmkorff 1851 verbessert und seitdem in immer grösseren Dimensionen ausgeführt, als Ruhmkorff'scher Apparat sehr bekannt geworden ist, liefert schnell auf einander folgende Inductionsströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung. Werden diese Ströme durch das Gewinde eines Multiplicators geleitet, so lassen sie die Magnetnadel unabgelenkt. Eine Ablenkung, und zwar im Sinne der bei Oeffnung der angewandten voltaischen Kette erregten Ströme, wird erhalten, wenn man in der Leitung eine Lücke anbringt und dadurch die der Schliessung der Kette entsprechenden Ströme vom Multiplicator ausschliesst. Gaugain änderte diesen Versuch glücklich ab, indem er die Lücke, statt in freier, in stark verdünnter Luft herstellte zwischen zwei Elektroden von sehr verschiedener Grösse[2]). Hierzu wurde in dem als elektrisches Ei bekannten Apparate, die eine der beiden einander gegenüberstehenden Kugeln nebst ihrem Stiele mit einer isolirenden Substanz bekleidet und nur eine sehr kleine Stelle der Kugel nackt gelassen. Der so veränderte Apparat wurde mit dem Namen *oeuf-soupape* oder *soupape électrique* belegt, weil seine Wirkung der eines Ventils ähnlich ist. Leitet man nämlich, nachdem die Luft im elektrischen Ventile hinlänglich verdünnt ist, die Ströme des Ruhmkorff'schen Apparates so hindurch, dass der Oeffnungsstrom von der bedeckten zur nackten Kugel geht, so erfolgt die Ablenkung

---

1) Poggendorff's Ann.* 46. 104.
2) Compt. rendus* 40. 640. Poggend. Annal. 95. 163.

der Nadel an einem in die Leitung eingeschalteten Multiplicator, und zwar im Sinne des Oeffnungsstromes; hingegen bleibt die Ablenkung aus bei entgegengesetzter Lage der beiden Kugeln. Ich habe dem Ventile eine einfachere leicht herzustellende Einrichtung gegeben und mehrfache Versuche über Erwärmung und magnetische Ablenkung damit angestellt. Die Erwärmung eines Drathes sowol durch die Ströme des Inductorium (Ruhmkorff'schen Apparats), wie durch den Entladungsstrom der leydener Batterie, war am stärksten bei der Stellung des Ventils, welche, bei Anwendung des Inductorium, keine oder eine sehr geringe Ablenkung der Magnetnadel gab. Ich schloss hieraus, dass durch das Ventil sowol der Schliessungs-, wie der Oeffnungs-Strom hindurchgehn könne, eine Folgerung, der Gaugain auf das Entschiedenste entgegentrat. Nach seiner Meinung waren die Schliessungsströme auf seinen Apparat ohne den geringsten Einfluss und der Apparat wirkte als Ventil nur für die Oeffnungsströme [1]). Hiernach war zu erwarten, dass, wenn das Ventil, was noch fraglich blieb, bei dem Nebenstrome der leydener Batterie anwendbar war, nur der dem Hauptstrome gleichgerichtete Strom in der magnetischen Ablenkung merklich sein würde, nach meiner Ansicht musste es auch der entgegengerichtete. Die Versuche, die ich erst seit einem Jahre ausführen konnte, als ich einen Multiplicator erhielt, der vergleichbare Ablenkungen lieferte, entsprachen meiner Erwartung in nicht geahntem Grade. Das Ventil erwies sich als ein äusserst sicheres, nie versagendes Mittel, um von allen Nebenströmen der leydener Batterie Ablenkungen der Magnetnadel in dem einen oder andern Sinne zu erhalten und dadurch diese Ströme näher kennen zu lernen, als es bisher möglich war.

2. Das von mir beschriebene Ventil [2]), Fig. 5 im Durchschnitte und in halber Grösse abgebildet, besteht aus einem hohlen Glascylinder, in dem die Luft verdünnt wird, nach-

---

1) Comptes rendus* 42. 17.
2) Monatsberichte 1855. 395. Pogg. Ann. 96. 179. Oben S. 136.

dem er durch eine aufgelegte Glasplatte luftdicht abgeschlossen ist. Auf die Mitte der Glasplatte ist ein Elfenbeinstab gekittet, durch den ein Platindrath von ½ Millimeter Dicke hindurchgeht, der in der innern Fläche der Platte endigt und äusserlich mit einer Leitung verbunden werden kann. Im Innern des Cylinders steht auf einem Messingstiele eine Messingscheibe von 11 Linien Breite, parallel der Deckplatte und eine Linie von ihr entfernt.

Um die Lage des Ventils in der Leitung kurz anzugeben, werde ich mich des Ausdrucks bedienen, das Ventil habe, in Bezug auf einen Strom von angegebener Richtung die *Spitzenstellung*, wenn jener Strom, im Fall er durch den Cylinder ginge, von der Platinspitze der Deckplatte zur Messingscheibe gehen müsste, und werde mit *Flächenstellung* die entgegengesetzte Stellung bezeichnen. Es soll damit keineswegs gesagt sein, dass der genannte Strom im Versuche wirklich durch den Cylinder geht. Der Multiplicator, den ich schon bei anderer Gelegenheit gebraucht habe [1]), besteht aus 57 Windungen eines mit Guttapercha dick umpressten Kupferdrathes und einer an einem Coconfaden hängenden Doppelnadel von geringer Richtkraft.

3. Das Gewinde des Multiplicators wurde durch zwei $^{17}/_{24}$ Linie dicke Kupferdräthe, zusammen 49 Fuss lang, in die Schliessung einer leydener Batterie gebracht, in welcher sich ausserdem eine ebene, aus 13 Fuss Kupferdrath gewundene Spirale von 14 Windungen und 5¾ Zoll Breite, und eine mit Wasser gefüllte Röhre befand. Die Entladung der Elektricitätsmenge 10, zu deren Messung die Kugeln der Maassflasche ½ Linie von einander standen, aus drei Flaschen von 2,6 Quadratfuss Belegung, brachte eine Ablenkung von 2 und 3 Graden am Multiplicator hervor. Die Richtung der Ablenkung entsprach der des Entladungsstromes, und ich werde sie hier und in der Folge als positive bezeichnen. Darauf entfernte ich die Wasserröhre aus der Schliessung, löste die Enden der beiden zum Multiplicator führenden

1) Monatsberichte 1857. 379. Oben S. 170.

Dräthe und verband sie durch eine ebene, der beschriebenen symmetrisch gleiche Drathspirale. Diese (Neben-) Spirale wurde der im Schliessungsbogen der Batterie, der ganz metallisch hergestellt war, befindlichen (Haupt-) Spirale bis 1 Linie normal genähert, und bildete mit dem Gewinde des Multiplicators und den dahin führenden Dräthen die Nebenschliessung. In dieser Nebenschliessung war eine Lücke gelassen, welche ein elektrisches Ventil einnahm, in dem die Luft bis 2 Linien Quecksilberdruck verdünnt war. Ich werde die Stellung des Ventils in Bezug auf einen Strom angeben, der in der Nebenspirale mit dem Entladungsstrome in der Hauptspirale gleiche Richtung besitzt. Die Ladung der Batterie war die bereits angegebene.

Ablenkung am Multiplicator durch den Nebenstrom, bei	
Spitzenstellung	Flächenstellung
des Ventils	
— 5 Grad	+ 6
— 4	+ 5,5
— 4,5	+ 5

Aus diesen Beobachtungen folgt, was sich später im vollsten Maasse bestätigte, dass der Entladungsstrom der leydener Batterie eine Magnetnadel viel weniger ablenkt, als der durch ihn in einer Spirale von nur 13 Fuss Drathlänge unter keineswegs günstigen Bedingungen erregte Nebenstrom und dass der Nebenstrom, wenn er durch ein elektrisches Ventil geht, die Nadel sowol im Sinne eines Stromes ablenkt, der dem Hauptstrome gleichgerichtet ist, wie im Sinne des entgegengerichteten Stromes. Die erste Ablenkung erfolgt, wenn der gleichgerichtete Nebenstrom zuerst die Scheibe, die zweite, wenn er zuerst die Spitze des Ventils trifft. Daraus folgt die zur Anwendung bequeme Regel: *Mit Hülfe des elektrischen Ventils und bei jeder Stellung desselben, lenkt der Nebenstrom der leydener Batterie die Magnetnadel im Sinne eines Stromes ab, der von der Scheibe zur Spitze des Ventils geht.*

4. Dies merkwürdige und, was die Stellung des Ventils bei den entgegengesetzten Ablenkungen betrifft, mir un-

erwartete Ergebniss, wurde durch den Nadelmultiplicator ausser Zweifel gesetzt. Sonst aber ist diese Versuchsart nicht zu empfehlen, weil das Nadelsystem häufig seine Richtkraft und Stellung ändert und weiter auseinanderliegende Versuche nicht mehr vergleichbar sind. Zu allen folgenden Versuchen bediente ich mich eines Wiedemann'schen Spiegelgalvanometers [1]), das in letzter Zeit von Sauerwald häufig ausgeführt und mit Drathrollen versehen ist, deren genügend isolirte Windungen den ungestörten Durchgang von Batterieströmen gestatten. Ein magnetisirter Stahlspiegel schwebt an einem Coconfaden in einer Kupferbüchse von 6 Linien Wanddicke, die durch eine Holzbüchse ersetzt werden kann, zwischen zwei Drathrollen, und wirft das Bild einer 1505 Mm. entfernten Millimeterscale in ein Fernrohr. Die Ablenkung des Spiegels um einen Scalentheil entspricht demnach $\frac{1718,9}{1505} = 1,14$ Bogenminute. Jede der beiden vom Spiegel beliebig zu entfernenden Drathrollen, durch welche der elektrische Strom geleitet wird, besitzt in vier Lagen 40 Windungen eines $^{17}/_{24}$ Linie dicken Kupferdrathes von angeblich 30 Fuss Länge, der mit Kautschuk und einem gefilzten Zeuge umhüllt ist. Wo es nicht anders gesagt ist, habe ich mich bei den folgenden Versuchen, zur Schonung des Spiegels, nur Einer Drathrolle und der Kupferbüchse bedient. Diese Büchse hebt nicht nur die Schwingungen des Spiegels in wenigen Sekunden auf, sondern verhindert auch die Magnetisirung desselben durch den elektrischen Strom.

5. Ich setzte den Schliessungsbogen der Batterie ganz metallisch zusammen und fügte dazu eine der in (3) erwähnten ebenen Spiralen von 13 Fuss Drathlänge. Die Elektricitätsmenge 10 wurde aus drei Flaschen entladen und die Ablenkung am Galvanometer beobachtet. Darauf wurde das elektrische Ventil mit Luft von 2 Linien Druck in die

---

1) Wiedemann, Lehre vom Galvanismus.* Braunschweig 1861. B. 2. 199.

Schliessung aufgenommen und die Beobachtung bei verschiedener Stellung des Ventils wiederholt.

Es erfolgte bei metallischer Schliessung die
Ablenkung . . . . + 10,5 Scth.
Spitzenstellung des Ventils . + 10,5
Flächenstellung . . . . + 10,0

Von dem ganzen Schliessungsbogen wurde ein kleiner Theil zur Hauptschliessung der Batterie gemacht, und darin eine ebene Spirale von 13 Fuss Drathlänge aufgenommen. Der übrige Theil des Schliessungsbogens, zu dem die Galvanometerrolle, das elektrische Ventil und die ebene Spirale gehörten, wurde als Nebenschliessung benutzt, indem zugleich diese Spirale der in der Hauptschliessung befindlichen normal bis 1 Linie genähert wurde. Die Verbindung der Dräthe war der Art, dass ein dem Hauptstrome gleichgerichteter Nebenstrom positive Ablenkungen (nach steigenden Zahlen der Scale) am Galvanometer geben musste, und die Stellung des Ventils wird auf diesen Strom bezogen. Die Ladung der Batterie geschah wie früher. Der Nebenstrom gab

bei Spitzenstellung des Ventils die Ablenkung — 40,5 Scth.
Flächenstellung . . . . + 43

Es zeigt sich hier, dass das Ventil auf die Ablenkung durch den Hauptstrom der Batterie ohne Einfluss bleibt, und wiederholt, dass diese Ablenkung viel geringer ist, als die durch den Nebenstrom bewirkte.

Die Grösse der Ablenkung durch den Nebenstrom, die hier das Vierfache der durch den Hauptstrom hervorgebrachten beträgt, ist nicht constant und variirt ferner bedeutend mit dem Luftdrucke im Ventile. Was aber die Richtung dieser Ablenkung betrifft, so ist sie in weiter Gränze von dem Luftdrucke unabhängig und ihre Beobachtung bildet einen leichten und sichern Versuch, zu dessen Anstellung weder ein vollkommener Apparat, noch besondere Vorsicht nöthig ist. Wenn man sicher ist, dass der Luftdruck im

Ventile nicht viel weniger als 2 Linien und nicht viel mehr als 5 Zoll beträgt, so kann man aus dem Anblicke der Verbindung des Ventils mit der Galvanometerrolle mit Bestimmtheit voraussagen, nach welcher Seite die magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom erfolgen wird. Die Elektricitätsart, mit der die Batterie geladen ist und die Verbindung des Galvanometers mit Mitte oder Ende der Nebenspirale ist gleichgültig. Die Ablenkung geschieht, wie oben bereits angegeben ist, im Sinne eines Stromes, *der im Ventile von der Scheibe zur Spitze geht.*

6. Um die Abhängigkeit der Ablenkung von dem Luftdrucke im Ventile aufzuzeigen, wurde zuerst die stärkste Verdünnung gebraucht, und durch allmähliches Zulassen von Luft der volle Luftdruck hergestellt. Die Stellung des Ventils wird, wie früher, auf einen Nebenstrom bezogen, der in der Nebenspirale dem Hauptstrome gleichgerichtet ist, und letzterer wiederum durch Entladung der Menge 10 aus drei Flaschen erhalten.

Druck im Ventil		Magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom, bei	
Zoll	Linien	Spitzenstellung des Ventils	Flächenstellung des Ventils
	5/4	— 36 Scth.	+ 40
	4	— 29	+ 35
	6	— 28,5	+ 29
1		— 19,5	+ 27,5
2		— 16,5	+ 16,5
4		— 9	+ 16
8		— 4,5	+ 13
10		— 2	+ 13
12		— 0,6	+ 12
14		+ 1,5	+ 13,5
18		+ 6,5	+ 19,5
22		+ 14,3	+ 22,7
25		+ 22,3	+ 22,5
28	5½	+ 35,4	+ 31

Mit Vermehrung der Luft im Ventile von 5/4 Linien Quecksilberdruck bis zu vollem Luftdrucke nimmt die mag-

netische Ablenkung durch den Nebenstrom bei beiden Stellungen des Ventils zuerst ab und zuletzt wieder zu. Bei der Flächenstellung ist diese Aenderung der Grösse der Ablenkung langsam und die Ablenkung geschieht stets nach derselben Seite, die einem dem Hauptstrome gleichlaufenden Nebenstrome entspricht. Bei Spitzenstellung des Ventils und dünner Luft darin erfolgt die Ablenkung in dem Sinne eines dem Hauptstrome entgegengerichteten Stromes, nimmt mit zunehmendem Luftdrucke schnell ab, ändert zuletzt das Zeichen und nimmt dann wieder schnell zu. Die Wiederholung eines Versuches gibt bei der Spitzenstellung stärker abweichende Zahlen, als bei der Flächenstellung, und in der Nähe des Luftdruckes, wo die Ablenkung ihr Zeichen ändert, also von 10 bis 14 Zoll Druck an, ist selbst dies Zeichen nicht constant. Es ist zu erwarten, dass diese Unsicherheit schon bei einem kleinern Drucke eintritt, wenn man bedeutend stärkere Ladungen der Batterie, als hier, anwendet; doch habe ich keinen solchen Versuch angestellt, der, ohne ein besonderes Interesse zu bieten, die Galvanometerrolle gefährdet haben würde. Bei 14 Zoll und höherem Drucke erfolgt die Ablenkung bei jeder Stellung des Ventils zumeist im Sinne eines dem Hauptstrome gleichgerichteten Stromes, und im Allgemeinen sind bei Flächenstellung des Ventils die Ablenkungen grösser als bei Spitzenstellung. Nur bei vollem Luftdrucke gab die Spitzenstellung, wie ich öfter gesehn habe, eine grössere Ablenkung als die Flächenstellung.

7. Die bisher aufgeführten Versuche zeigen, dass das elektrische Ventil, bei gehöriger Verdünnung der Luft darin, von den beiden entgegengesetzt gerichteten Strömen, die den Nebenstrom bilden, denjenigen zur sichtlichen Wirkung kommen lässt, dessen Lauf von der Fläche zur Spitze des Ventils geht. Es könnte aber sein, dass auch der anders gerichtete Strom, nur mit bedeutend geringerer Elektricitätsmenge, durch das Ventil ginge. Dann müsste ein zweites Ventil, das der Bildung des anders gerichteten Stromes ein zweites Hinderniss entgegensetzt, die Ablenkung ver-

grössern, die durch Ein Ventil bewirkt wird. Zwei gleiche Ventile, in welchen der Luftdruck 2 Linien betrug, wurden erst einzeln, dann gleichzeitig in die Schliessung des, wie in (6) erregten Nebenstromes gebracht.

Magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom, bei	Spitzenstellung	Flächenstellung
des Ventils 1	— 34 Scth.	+ 37
2	— 35,5	+ 37
beider Ventile	— 35	+ 36

Die nahe gleiche Ablenkung bei Anwendung von Einem Ventile und von beiden Ventilen lehrt, dass Ein Ventil nur den Strom zu Stande kommen lässt, dessen Richtung die Ablenkung angibt. Als beide Ventile mit entgegengesetzter, abwechselnder Stellung in die Schliessung eingeschaltet waren, erfolgten die Ablenkungen

+ 10,5 + 14 + 12,5 + 14

Wenn also das Entstehen beider Ströme in gleicher Weise erschwert wird, so kommt mit sehr verminderter Elektricitätsmenge der Strom zu Stande, der in der Nebenspirale dem Strome in der Hauptspirale gleichgerichtet ist.

Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Haupt- und Neben-Strom der Batterie.

8. In Versuchen, die ich über den Einfluss von Metallhüllen auf die Magnetisirung angestellt habe[1]), wurden drei Nadeln durch dieselbe Entladung der Batterie magnetisirt. Auf die erste Nadel wirkte der Hauptstrom allein, auf die zweite der Hauptstrom und zugleich der durch ihn erregte Nebenstrom, auf die dritte der Nebenstrom allein. Aber die Wirkung des Nebenstroms allein liess keinen Schluss zu anf die durch Haupt- und Nebenstrom zugleich ausgeübte Wirkung, da es häufig vorkam, dass die vom Nebenstrome magnetisirte Nadel entgegengesetzt gerichtet war der vom Hauptstrome magnetisirten, und dennoch derselbe Nebenstrom die Wirkung des Hauptstromes verstärkte. Es

---

1) Monatsberichte 1863. 346. Oben S. 74.

war vorauszusehn, dass dieser Widerspruch fortfallen würde, wenn die beiden entgegengesetzt gerichteten Theile des Nebenstroms von einander geschieden würden und nur Einer von ihnen zu Stande käme.

Es wurde der S. 85 beschriebene Apparat gebraucht. Zwei gleiche cylindrische Spiralen, jede von 46 Windungen, waren in dem Schliessungsbogen der Batterie angebracht. Die erste Spirale blieb leer, in die andere wurde eine Spirale von 220 Windungen geschoben, deren Enden durch eine gleiche Spirale mit einander verbunden waren. In diese Nebenschliessung wurde jetzt durch die beiden Dräthe (3) die Rolle des Spiegelgalvanometers und in eine Lücke der Schliessung ein elektrisches Ventil eingeschaltet. Bei jedem Versuche wurden 3 Stahlnadeln von $2^1/_2$ Zoll Länge in die Spiralen gelegt und magnetisirt. Die Magnetisirung, deren Richtung durch die Stellung des Ventils bestimmt wurde, war so stark, dass ich eine viel schwächere Ladung der Batterie, als in den frühern Magnetisirungsversuchen, gebrauchen musste. Statt der Elektricitätsmenge 15 wurde hier nur die Menge 8 aus 3 Flaschen entladen, und dennoch eine stärkere Magnetisirung erhalten als früher. Die Stellung des Ventils wie die Zeichen der Magnetisirung und der durch den Nebenstrom bewirkten Ablenkung am Galvanometer sind in Bezug auf einen Strom gegeben, der in der Nebenspirale dem Hauptstrome gleichgerichtet wäre. Der Luftdruck im Ventile stieg während der Versuche von $^5/_4$ auf 4 Linien.

Stellung des Ventils.	Ablenkung durch den Nebenstrom.	Magnetisirung durch den Haupt-strom.	Haupt u. Nebenstrom.	Neben-strom.
		Angabe des Magnetoskops.		
Flächenstellung	+2,7 Scalentheile	+22,7 Grad	+58	+53
	+3,8	+21,5	+61	+62,4
Spitzenstellung	−3,2	+24,5	−26,1	−59
	−3,3	+21,7	−19	−58,7
Flächenstellung	+3,3	+26,2	+62	+59
	+3,3	+21,7	+59,7	+61,2
Spitzenstellung	−3,3	+22	−28,5	−59,7
	−3,5	+20,7	−30,5	−61,7.
Flächenstellung	+3,3	+21,7	+61	+59,2
Spitzenstellung	−3,2	+24,1	−24,6	−57,1

9. Der Einfluss des durch ein Ventil gegangenen Nebenstroms auf die vom Hauptstrome bewirkte Magnetisirung tritt hier auf das Klarste hervor. Wenn der Nebenstrom allein dem Hauptstrome gleichgerichtet magnetisirt, verstärkt er, mit jenem vereint, die Magnetisirung; wo er ihm entgegengerichtet magnetisirt, bestimmt er die Richtung der gemeinschaftlich magnetisirten Nadel. Dass er im zweiten Falle nicht bloss den vom Hauptstrome erregten Magnetismus schwächt, rührt davon her, dass der Hauptstrom aus 46, der Nebenstrom aus 220 Spiralwindungen auf die Nadel wirkt.

Auffallend bei diesen Versuchen bleibt nur, dass bei gleichartiger Wirkung beider Ströme der Hauptstrom sehr wenig, bei entgegengesetzter Wirkung sehr kräftig wirkt. Unter positiven Zeichen sind die Magnetisirungen durch den Nebenstrom allein und durch beide Ströme zugleich wenig von einander verschieden, unter negativen Zeichen aber sehr bedeutend. Es kommen zwei Fälle vor, in welchen bei den Verstärkungen der Nebenstrom allein stärker magnetisirt, als mit dem Hauptstrome vereint. Dies hat nicht den Grund, dass die stärksten Magnetisirungen dem Sättigungszustande der Nadeln nahe lagen. In einer früher angestellten Versuchsreihe, in welcher das Galvanometer und die zu ihm führenden Dräthe fehlten, trat der bemerkte Umstand viel auffallender hervor, indem alle positiven Magnetisirungen durch den Nebenstrom allein grösser waren, als die gleichzeitig durch den Haupt- und Nebenstrom bewirkten, und zugleich erstreckten sich die Ablenkungen am Magnetoskope bis 80 Grad. Es liegt also hier wieder einer jener räthselhaften Fälle vor der gleichzeitigen Magnetisirung durch verschiedene Ströme, von welchen in dem angeführten Aufsatze Beispiele gegeben wurden.

10. Die Richtung der Magnetisirung durch den Nebenstrom bei Anwendung des elektrischen Ventils mit dünner Luft unterliegt derselben Regel, wie die der Ablenkung am Galvanometer. *Der Nebenstrom magnetisirt bei jeder Stellung*

des Ventils im Sinne eines Stromes, der im Ventile von der Scheibe zur Spitze geht.

Merkwürdig ist die starke Magnetisirung durch einen schwachen Nebenstrom, der am Galvanometer eine Ablenkung von nur 3⅓ Scalentheilen hervorbrachte. Erregt man den Nebenstrom in einer grösseren Spirale und lässt ihn durch ein Ventil gehn, so gibt er das leichteste und kräftigste Mittel, einer Stahlnadel durch die Batterie Magnetismus in einer und der andern Richtung zu ertheilen. Der Nebenstrom übertrifft hierin bei Weitem einen Hauptstrom, der eine gleiche Ablenkung am Galvanometer hervorbringt, und es wird hieraus der grosse Einfluss klar, der bei gleichzeitiger Magnetisirung durch Haupt- und Nebenstrom dem letzten zukommt.

11. Im Schliessungsdrathe der Batterie, im Fall er weder durch ungewöhnliche Länge noch eine besondere Einrichtung die Bildung des Nebenstroms begünstigt, kommt wesentlich nur der Entladungsstrom zur Wirkung, der nur nach Einer Seite gerichtet ist. Das elektrische Ventil muss demnach auf die durch den Strom bewirkte magnetische Ablenkung ohne Einfluss bleiben. Da aber, wie die Untersuchung der Erwärmung im Bogen gelehrt hat, die Art der Entladung des Stromes je nach der Stellung des Ventils eine verschiedene ist, so war zu erwarten, dass das Ventil die Magnetisirung ändern werde. In die Schliessung einer Batterie von drei Flaschen, die mit der Menge 12 geladen wurde, war die Rolle des Galvanometers, die cylindrische Spirale von 46 Windungen und das Ventil eingeschaltet. Bei jedem Versuche wurde eine 2½zöllige Stahlnadel in die Spirale gelegt und danach am Magnetoskope geprüft. Der Luftdruck im Ventile betrug 2 Linien. Die Richtung der Ablenkung und Magnetisirung entsprach überall der Richtung des Entladungsstroms.

Ablenkung und Magnetisirung durch den Hauptstrom, bei Spitzenstellung / Flächenstellung des Ventils

Spitzenstellung		Flächenstellung	
Ablenkung	Magnetisirung	Ablenkung	Magnetisirung
+ 11,5 Scth.	+ 16,5 Grad	+ 11,5 Scth.	+ 29,7 Grad
11,5	17	12	30,1
12	17	12	32,5
12	18,6	11,5	34,4
		12,3	34,1
11,7	21,5	12	33,7

Die magnetische Ablenkung durch den Hauptstrom ist dieselbe, das Ventil mag gegen ihn die Flächenstellung oder die Spitzenstellung haben, aber die Magnetisirung ist bei der Flächenstellung bedeutend stärker. Es kommt Dies völlig überein mit frühern Versuchen, in welchen die Erwärmung im Schliessungsbogen viel grösser bei der Flächenstellung des Ventils gefunden wurde, als bei der Spitzenstellung [1]).

Magnetische Ablenkung durch die Ströme höherer Ordnung.

12. Der sekundäre Strom der Batterie, vorzugsweise Nebenstrom genannt, erregt in einem Drathe, der einem Theile seiner Schliessung parallel nahe liegt, den tertiären Strom, dieser in gleicher Weise den Strom vierter Ordnung u. s. f. Alle diese Nebenströme der Batterie, wenn sie durch ein elektrisches Ventil mit hinlänglich dünner Luft geschickt werden, lenken die Nadel des Multiplicators nach derselben Regel ab, indem die Richtung der Ablenkung einem Strome entspricht, der von der Fläche zur Spitze des Ventils geht. Ich habe Dies nur bis zum Strome fünfter Ordnung verfolgt, zweifle aber nicht, dass es auch bei Strömen noch höherer Ordnung statt finden werde. Bei einem einzelnen Versuche mit dem Ventile lässt sich also an der magnetischen Ablenkung kein Unterschied wahrnehmen zwischen einem Nebenstrome irgend einer Ordnung und dem

1) Monatsberichte 1855. 397. Oben S. 138.

Strome nächst niederer oder höherer Ordnung. Ein solcher Unterschied tritt aber in auffallender Weise hervor, wenn man eine längere Versuchsreihe anstellt, bei der die Luft im Ventile von starker Verdünnung successiv zum vollen Luftdrucke gebracht wird. Dies zeigen die folgenden Versuche.

13. Die in (3) beschriebene Spirale von 13 Fuss Drathlänge wurde im Schliessungsbogen der Batterie so angebracht, dass der Entladungsstrom in ihre Mitte eintrat und aus ihrem Rande austrat. Der Spirale stand in 1 Linie Entfernung die gleiche Nebenspirale normal gegenüber, und diese wurde durch zwei Dräthe mit einer ebenen Spirale von 31 Umgängen und 53 Fuss Drathlänge (der sekundären Hauptspirale) in der Art verbunden, dass die Mitte jeder Spirale mit dem Rande der andern in Verbindung stand. Der sekundären Hauptspirale wurde eine ihr gleiche Spirale (die tertiäre Nebenspirale) bis 1 Linie normal genähert, und zur Untersuchung des tertiären Stromes die Enden der letzten mit der Galvanometerrolle und dem Ventile verbunden.

Ich bemerke sogleich, dass auch in der Folge je zwei Spiralen, die zu Einem Kreise gehörten, an entgegengesetzten Enden mit einander verbunden wurden. Dadurch ist die Angabe des Sinnes der Ablenkung und der Stellung des Ventils bei einem Nebenstrome jeder Ordnung leicht und unzweideutig. Da nämlich jene Angabe stets auf den Hauptstrom bezogen wird, und durch die angegebene Verbindung der Spiralen ein dem Hauptstrome gleichgerichteter Strom in jeder Spirale von der Mitte zum Rande laufen musste, so sagt das positive Zeichen der Ablenkungen, dass sie in dem Sinne eines Stromes geschehn, der aus dem Randende der letzten Spirale austritt, und „Spitzenstellung des Ventils“, dass die Platinspitze des Ventils mit jenem Ende metallisch verbunden ist. Zur Erläuterung des Gesagten füge ich die schematische Zeichnung des Apparates hinzu, der bei Untersuchung des Stromes fünfter Ordnung gebraucht wurde. In Fig. 6 deuten die Pfeile die ebenen Spiralen an, die Spitzen daran entsprechen den Randenden

und geben zugleich die Richtung gleichlaufender Ströme. Mit *r* ist die Rolle des Galvanometers, mit *v* das el. Ventil bezeichnet. Letztes steht in der Figur in Spitzenstellung.

14. Bei den folgenden Versuchen mit dem tertiären Strome bestand, wie oben bei dem sekundären, die Batterie aus drei Flaschen und wurde mit der Menge 10 geladen.

Luftdruck im Ventile		Magnetische Ablenkung durch den tertiären Strom, bei	
Zoll	Linien	Spitzenstellung des Ventils	Flächenstellung des Ventils
	1,5	— 32 Scth.	+ 31
	5	— 29	+ 29
1		— 25	+ 19
2		— 19	+ 14
4		— 16	+ 13
8		— 14,5	+ 6
12		— 10	+ 4
16		— 11,5	+ 1,5
20		— 13	+ 0,3
24		— 14	— 5
28	2	— 15	— 13,5

Wie bei dem sekundären Strome erfolgen hier die meisten Ablenkungen bei Flächenstellung des Ventils im Sinne eines dem Hauptstrome gleichgerichteten, bei Spitzenstellung eines ihm entgegengerichteten Stromes. Aber im Gegensatze zu den Versuchen am sekundären Strome sind es hier die Ablenkungen bei der Spitzenstellung, die mit wachsendem Luftdrucke langsam abnehmen und durchweg ihr Zeichen behalten, während die Ablenkungen bei Flächenstellung des Ventils schnell sinken und in der Nähe des vollen Luftdruckes ihr Zeichen ändern.

15. Die letzte Spirale an dem eben benutzten Apparate wurde mit einer ebenen Spirale von 31 Windungen und 53 Fuss Drathlänge verbunden, dieser eine gleiche Spirale (Nebenspirale vierter Ordnung) in 1 Linie Entfernung normal nahegestellt und die Nebenspirale durch die Gal-

vanometerrolle und das Ventil geschlossen. Die Ablenkungen, mit Ausnahme der eingeklammerten, wurden wie bisher durch Entladung der Menge 10 aus drei Flaschen erhalten.

Magnetische Ablenkung durch den Strom vierter Ordnung, bei

Luftdruck im Ventile		Spitzenstellung	Flächenstellung
Zoll	Linien	des Ventils	
	$1^3/_4$	— 23 Scth.	+ 23
	5	— 21	+ 22
1		— 18	+ 18
2		— 14	+ 16
4		— 8	+ 14,5
8		— 6	+ 13,5
12		— 2	+ 11
16		+ 1	+ 10,5
20		+ 6,5	+ 9
24		(+ 6)	(+ 14)
28	$1^1/_2$	(+ 10)	(+ 16)

Bei dem Luftdrucke von 24 und 28 Zoll musste die Elektricitätsmenge 12 zur Ladung der Batterie gebraucht werden, weil sonst der Strom nicht durch das Ventil ging. Bei dem Strome vierter Ordnung ist es wieder, wie bei dem Strome zweiter Ordnung, die Flächenstellung des Ventils, welche die langsam abnehmenden, durchweg gleichgerichteten, Ablenkungen liefert.

16. Um den Strom fünfter Ordnung zu erhalten, wurde die letzte der gebrauchten Spiralen mit einer cylindrischen Spirale von 52 Fuss Drathlänge verbunden, zwischen deren 32 Windungen, 1 Linie von ihnen entfernt, eine gleiche Spirale gewunden war, welche die Nebenspirale fünfter Ordnung bildete. Mit dieser wurden Galvanometerrolle und Ventil verbunden. Die Batterie musste hier stärker als früher, nämlich mit der Menge 15 geladen werden.

Magnetische Ablenkung durch den Strom fünfter Ordnung, bei

Luftdruck im Ventile		Spitzenstellung	Flächenstellung
Zoll	Linien	des Ventils	
	$1^3/_4$	— 22 Scth.	+ 23
	5	— 22	+ 22
1		— 20	+ 16
2		— 15,5	+ 13,5
4		— 16	+ 10,5
8		— 13	+ 5,5
12		— 11	+ 3,5
16		— 12	0
20		— 12	— 5,5
24		— 15	— 7,5
28	1	— 14,5	— 6

Bei dem Drucke von 16 Zoll und Flächenstellung des Ventils wurde keine Ablenkung erhalten, obgleich der Strom mit einem hellen Funken durch das Ventil ging. Der Strom fünfter Ordnung entspricht in dem Verlaufe der durch ihn bewirkten Ablenkungen ganz dem Strome dritter Ordnung; bei beiden ist es die Spitzenstellung des Ventils, welche die langsame Abnahme gleichgerichteter Ablenkungen zur Folge hat.

17. Gibt man diesen Versuchen, wie es wol erlaubt ist, allgemeine Geltung, so folgt aus ihnen der Satz: *Bei Flächenstellung des Ventils und successiver Zunahme des Luftdrucks darin tritt die langsame Abnahme gleichgerichteter Ablenkungen ein bei den Strömen gerader Ordnung, eine schnelle Abnahme und Wechsel der Richtung bei den Strömen ungerader Ordnung.*

Bei der Spitzenstellung des Ventils gilt der Satz nach Vertauschung der beiderartigen Ströme.

Mit Hülfe dieser beiden Sätze kann über einen vorhandenen Nebenstrom, bei Kenntniss seiner Lage gegen den Hauptstrom, leicht entschieden werden, ob er von gerader oder ungerader Ordnung ist. Am sichersten geschieht die Entscheidung durch Beobachtung der Abnahme auf einander folgender Ablenkungen, wenn der Luftdruck im Ventile

von 4 bis 16 Zoll geändert wird. Bequemer scheint dazu die Benutzung des Ventils mit vollem Luftdrucke und das Aufsuchen der Stellung desselben, bei welcher eine der Regel widersprechende Richtung der Ablenkung eintritt. Geschieht Dies bei der Flächenstellung, so liegt ein Strom ungerader Ordnung vor, und ein Strom gerader Ordnung, wenn es bei der Spitzenstellung geschieht. Aber die Richtung der Ablenkung bei vollem Luftdrucke im Ventile ist nicht so constant, als dass man die Entscheidung ohne öftere Wiederholung des Versuches treffen könnte.

18. Der Name elektrisches Ventil deutet auf die Eigenheit des Instruments, bei gehöriger Verdünnung der Luft darin, von den beiden Theilen des Nebenstroms der Batterie nur den Theil zu Stande kommen zu lassen, der seinen Lauf von der Scheibe zur Spitze des Ventils nimmt. Ob Dies auch bei einem grössern Complexe entgegengerichteter Ströme geschehen würde, musste der Versuch entscheiden, und es war von vornherein nicht zu bestimmen, dass das Ventil dieselbe Eigenheit auch bei den Strömen höherer Ordnung beibehalten werde. Die Dichtigkeit, und daher der Ursprung der zu sondernden Ströme ist auf die Wirkung des Ventils von grösstem Einflusse, wie der schroffe Gegensatz zeigt, in dem der Gaugain'sche Versuch zu den ihm entsprechenden Versuchen dieser Abhandlung steht. In diesem bekannten Versuche wird nämlich die Magnetnadel durch den Oeffnungsstrom des Inductorium nur dann abgelenkt, oder doch bei Weitem am stärksten abgelenkt, wenn der Strom zuerst die Spitze des Ventils trifft. Die Ablenkung erfolgt also im Sinne eines Stromes, der von der Spitze zur Fläche des Ventils geht.

Ich habe diese Ausnahme von der an der leydener Batterie gewonnenen Regel auch deshalb nicht unerwähnt lassen wollen, weil mir das Ventil, mit den hier niedergelegten Erfahrungen, geeignet scheint, uns über den vielbenutzten Strom des Inductorium, den verwickeltsten aller elektrischen Ströme, einige Aufklärung zu verschaffen.

Magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom im Schliessungsdrathe der Batterie.

19. Es ist oben (11) bemerkt worden, dass im Schliessungsdrathe der Batterie, wenn er nicht durch grosse Länge oder eine besondere Einrichtung die Bildung des Nebenstroms begünstigt, wesentlich der Hauptstrom die Ablenkung der Magnetnadel bewirkt. Eine jener Einrichtungen ist die Anlegung eines Zweiges an den Schliessungsdrath, weil alsdann der in jedem Zweige erregte Nebenstrom durch den andern Zweig ablaufen kann. Sind die Zweige an Länge oder Form von einander verschieden, so kommt in ihnen ein Nebenstrom zu Stande, durch den man, wenn er bei Unterbrechung der Leitung auf die Magnetnadel wirkt, eine grössere Ablenkung hervorzubringen vermag, als die durch den Hauptstrom bewirkte. Buff hat Dies zuerst am Conductor der Elektrisirmaschine nachgewiesen, von welchem er anhaltend Funken auf eine nahestehende Kugel schlagen liess. Von der Kugel führte ein Drath, in welchem sich eine durch zwei kleine Kugeln gebildete Lücke von $^1/_2$ Millimeter Weite befand, zu der Drathrolle eines Multiplicators mit Doppelnadel. Die Rolle hatte, was hier wesentlich ist, eine geringe Drathlänge und nur 30 Windungen; ihr freies Ende war mit dem Reibzeuge der Maschine verbunden. Es wurden einige Ablenkungen am Multiplicator beobachtet und darauf diese Beobachtungen wiederholt, nachdem an zwei Punkten der Leitung, zwischen welchen die Lücke und der Multiplicator lag, ein Drathzweig angelegt war, zu dem eine cylindrische Spirale von 138 Windungen und 4 Meter Drathlänge gehörte. Bei verschiedener Länge der vom Conductor überschlagenden Funken wurden folgende Ablenkungen erhalten [1]).

Funkenlänge	Ablenkung am Multiplicator	
Millimeter	Ohne Zweig	Mit Zweig
25	+ 2,5 Grad	— 12
28	+ 2	— 28
30	+ 2	— 26

1) Ann. d. Chemie und Pharm.* 86. 311 (1853).

Man sieht hier den Hauptstrom die Nadeln um 2 Grad ablenken und den Nebenstrom, der durch einen Theil jenes Stromes in der Spirale erregt wurde, eine viel grössere, im zweiten Versuche die vierzehnfache Ablenkung hervorbringen. Die entgegengesetzten Zeichen der Ablenkung lehren, dass es der dem Hauptstrome gleichgerichtete Nebenstrom war, welcher den durch die Zweige gebildeten Kreis und die darin angebrachte Lücke durchlief. Dies Ergebniss ist an dem einfachsten Apparate, durch die Verschiedenheit der Zweige und die Unterbrechung in freier Luft des einen Zweiges erhalten worden.

20. Mit Anwendung des elektrischen Ventils erhält man am Schliessungsdrathe der Batterie, und zwar bei gleichen wie ungleichen Zweigen, eine überraschende Wirkung des Nebenstroms in einem Versuche, den Feddersen angegeben hat, aber mit gänzlicher Umgehung des Nebenstroms deuten will[1]). Folgendes ist im Wesentlichen eine Wiederholung des wichtigen Versuchs. An dem Wiedemann'schen Galvanometer wurden beide Drathrollen aufgesetzt, so dass der magnetisirte Spiegel sich zwischen ihnen befand. Die Rollen waren durch zwei Dräthe an entgegengesetzten Enden mit einander verbunden; die Mitte des einen Verbindungsdrathes stand mit dem Theile der Schliessung, der zur innern Belegung der Batterie führte, die Mitte des andern mit der äussern Belegung in Verbindung. Der Schliessungsdrath der Batterie theilte sich also in zwei völlig gleiche Zweige, welche den Stahlspiegel einschlossen, und zu jedem Zweige gehörte eine Drathrolle. Da nun der Entladungsstrom nach seiner Theilung die Rollen in entgegengesetzter Richtung durchlief, so konnte der Spiegel nur die Differenz der Ablenkungen zeigen, die ihm die Rollen einzeln ertheilt haben

1) Ber. der k. sächs. Ges. d. Wiss. 1861. Poggend. Ann.* 115. 336. Feddersen „sieht keine Möglichkeit der Erklärung des Versuchs, als durch die Theorie der Oscillationen“ (S. 342); er sieht also in seinem Versuche den entscheidenden Beweis für die Annahme, dass der Entladungsstrom im Schliessungsdrathe zu öfteren Malen hin- und zurückfliesse. Wirklich ist es der auffallendste Versuch, der zur Stütze dieser Annahme angestellt worden ist.

würden. Es war leicht, die Entfernung der Rollen vom Spiegel so zu reguliren, dass keine Ablenkung eintrat, als die Elektricitätsmenge 6 aus drei Flaschen durch den Bogen entladen wurde. Darauf wurde in jeden Zweig ein Ventil eingeschaltet, nahe der Stelle, wo der Entladungsstrom eintrat, und den Ventilen gegen diesen Strom die entgegengesetzte Stellung gegeben. Die Luft in den Ventilen hatte 2 Linien Quecksilberdruck. Die Entladung der genannten Menge aus der Batterie brachte nun eine Ablenkung des Spiegels hervor (nach steigenden Zahlen der Galvanometerscale) von + 136 Scth. und, als jedes Ventil in seinem Zweige umgekehrt war, von — 128 Scth.

Die starken Ablenkungen nach entgegengesetzter Richtung rühren von den beiden Nebenströmen her, die in den Rollen der Zweige erregt und durch die Stellung der Ventile so gerichtet werden, dass sie sich bei der Ablenkung des Spiegels unterstützen. Da nämlich die Ventile gegen den zwischen ihnen eintretenden Hauptstrom in entgegengesetzte Stellung gebracht sind, so befinden sie sich in gleicher Stellung gegen einen Strom, der in einem Zweige erregt ist und beide Zweige durchläuft. In der einen Rolle kommt der dem Hauptstrome gleichgerichtete, in der andern der ihm entgegenlaufende Nebenstrom zu Stande, und beide Ströme müssen den Spiegel nach derselben Seite ablenken. Man braucht nur ein Schema des Apparats zu entwerfen und die Regel anzuwenden, dass ein Nebenstrom stets im Sinne eines Stromes ablenkt, der von der Fläche zur Spitze des Ventils geht, um in jedem Versuche die Richtung der Ablenkung vorauszusagen.

21. Uebersichtlicher wird der Versuch in folgender vereinfachten Form. Ich verband durch zwei, einige Fuss lange Dräthe die gleichgelegenen Enden der Galvanometerrollen, und sodann die Mitte jedes Verbindungsdrathes mit einer der beiden Belegungen der Batterie. Es blieb nur die Rolle des einen Zweiges in der Nähe des Spiegels und die des andern wurde von ihm so weit entfernt, dass auch ein starker Entladungsstrom durch sie gehen konnte, ohne

den Spiegel zu bewegen. Bei schiefer Stellung der Rollenwindungen gegen die Ebene des Spiegels war dazu eine Entfernung von 19 Zoll mehr als hinreichend.

Es wurde die in (20) gebrauchte Ladung (Elektricitätsmenge 6 in drei Flaschen) zuerst durch den ganz metallischen Schliessungsbogen geschickt und in drei Versuchen die Ablenkung beobachtet. Dann wurden die Beobachtungen wiederholt, nachdem in jedem Zweige ein Ventil angebracht (Luftdruck darin 1¾ Lin.) und beiden Ventilen gegen den Entladungsstrom eine verschiedene Stellung gegeben war. In der folgenden Tafel ist nur die Stellung des Ventils in dem Zweige angegeben, der auf den Spiegel wirkt; das Ventil im entfernten Zweige hatte die entgegengesetzte Stellung.

Magnetische Ablenkung durch einen Zweig des Schliessungsbogens, bei

ganz metallischer Schliessung	Spitzenstellung	Flächenstellung
	des Ventils im Zweige	
+ 3,8 Scalentheile	— 75	+ 95
+ 4,0	— 80	+ 93
+ 4,0	— 82	+ 92

In der ganz metallischen Schliessung rührt die Ablenkung allein vom ungestörten Hauptstrome her, weil der in der einen Drathrolle erregte Nebenstrom von dem ihm gleichen, aber entgegengerichteten Nebenstrome der andern Rolle aufgehoben wird. Nach Einschaltung der Ventile kommt von jedem Nebenstrome nur ein Theil zu Stande, und da beide Theilströme gleichgerichtet sind, so ist ihnen die Ablenkung in bei Weitem überwiegendem Maasse zuzuschreiben. Die Richtung dieser Ablenkung ist der vielfach aufgezeigten Regel des Nebenstroms gemäss, und die Grösse derselben im Vergleiche mit der Ablenkung durch den Hauptstrom (sie erreicht hier das Dreiundzwanzigfache) kann nicht im Geringsten auffallen. Als (5) der Nebenstrom in einer ebenen Spirale von 14 Umgängen und 13 Fuss Drathlänge aus der Entfernung von 1 Linie erregt war, betrug die Ablenkung durch den Nebenstrom schon das

Vierfache der durch den Hauptstrom bewirkten Ablenkung; hier wird der Nebenstrom im Innern selbst zweier cylindrischen Spiralen erregt, von welchen jede in vier Lagen 40 Windungen von 30 Fuss Drathlänge besitzt. Bei der Spitzenstellung des Ventils im ablenkenden Zweige kommt in der Rolle desselben der dem Hauptstrome entgegengerichtete Nebenstrom zu Stande und läuft durch den andern Zweig; in diesem entsteht der dem Hauptstrome gleichgerichtete Strom, der durch den ersten Zweig geht und die durch ihn bewirkte Ablenkung verstärkt. Die schematische Zeichnung des Apparats bei diesem Versuche ist Fig. 7 gegeben. Mit *s* ist der Spiegel, mit *r* sind die Drathrollen, mit *v* die Ventile bezeichnet. Bei Flächenstellung des Ventils im ablenkenden Zweige sind die beiden in den Rollen entstehenden Nebenströme entgegengesetzter Art und Richtung. Der Nebenstrom jeder Drathrolle hat zwei, gegen ihn gleichliegende Ventile zu durchlaufen; dass aber dadurch die Grösse der Ablenkung nicht vermindert wird, ist in (7) gezeigt worden.

22. Die magnetische Ablenkung wird in diesen Versuchen durch einen Strom bewirkt, der aus zwei Elektricitätsquellen, den beiden Galvanometerrollen, entspringt. Schafft man die eine Quelle fort, so muss eine geringere Ablenkung eintreten. Die vom Spiegel entfernte Rolle wurde aus ihrem Zweige fortgelassen, und ihre Stelle durch einen 19 Linien langen, 0,119 Linie dicken Platindrath ausgefüllt. Mit dieser Veränderung wurden die Versuche wiederholt. Die Ablenkung durch die ganz metallische Schliessung zeigt, dass dieselbe Theilung des Entladungsstromes in den Zweigen stattfand, wie bei Anwesenheit der Rolle.

Magnetische Ablenkung durch einen Zweig des Schliessungsbogens, bei

ganz metallischer Schliessung	Spitzenstellung des Ventils im Zweige	Flächenstellung des Ventils im Zweige
+ 4,0 Scalentheile	— 19	+ 42
+ 4,0	— 18	+ 40
+ 4,0	— 18	+ 41

In den Zweigen der ganz metallischen Schliessung, von welchen der eine Zweig die grössere Länge und die Spiralform hat, kam zwar ein Nebenstrom zu Stande, konnte aber Nichts zur Ablenkung beitragen, weil er einen metallisch geschlossenen Kreis durchlief. Die Ablenkung durch den Nebenstrom bei Flächenstellung des Ventils beträgt nur das Zehnfache der durch den Hauptstrom bewirkten, ist also ganz der Erwartung entsprechend, die Ablenkung bei der Spitzenstellung ist dagegen bedeutend kleiner. Zugleich traf es sich nicht selten (in der mitgetheilten Reihe bei dem Versuche einer vierten Beobachtung), dass bei der Spitzenstellung des Ventils keine Ablenkung eintrat, und der Hauptstrom grösstentheils durch den vom Spiegel entfernten Zweig überging. Dies ist eine Folge davon, dass bei dieser Stellung der Ventile der dem Hauptstrome entgegengerichtete Nebenstrom entstand, der bei seiner geringen Dichtigkeit niemals in ganzer Stärke durch die Ventile ging, während in (21) sein besserer Uebergang dadurch erfolgte, dass er durch den dem Hauptstrome gleichgerichteten Nebenstrom der zweiten Rolle unterstützt wurde, der eine grössere Dichtigkeit, als er, besitzt. Ging der Nebenstrom schon nach den ersten Partialentladungen der Batterie nicht durch die Ventile, so gingen alle folgenden Partialentladungen allein von Fläche zu Spitze des im entfernten Zweige befindlichen Ventils.

Bei der vollkommenen Uebereinstimmung mit den Gesetzen der Ablenkung durch den Nebenstrom, zeigen die Versuche in (21) und (22) das Auftreten des Nebenstroms in der Hauptschliessung der leydener Batterie nicht minder deutlich, als meine frühern Versuche über die Erwärmung der Zweige [1]).

22ª. *Zur Aufzeigung der magnetischen Ablenkung durch den in der Batterieschliessung selbst erregten Nebenstrom habe ich zwei elektrische Ventile gebraucht (21), die gleich

1) Monatsberichte 1859. 6. Oben S. 68.
* Poggendorff's Ann. 121. 613. (1864.)

herzustellen und längere Zeit hindurch in gleichem Stande zu erhalten, immer einige Mühe verursacht. Zwei Ventile waren nöthig, um die Ablenkung durch den Hauptstrom vergleichen zu können mit der durch den Nebenstrom bewirkten, welchen derselbe Hauptstrom erregt hatte. Verzichtet man auf diese Vergleichung, so ist nur Ein Ventil erforderlich, der Versuch wird ausnehmend leicht, und seine Anordnung nimmt wenige Minuten in Anspruch. Da der Versuch auch dann noch zu den schlagendsten gehört, um den häufig übersehenen Nebenstrom im Schliessungsdrathe der Batterie augenfällig zu machen, so gebe ich hier nachträglich seine Beschreibung, bei welcher die angegebenen Dimensionen der Zweige nicht als wesentliche zu betrachten sind. Nur wird man einen bedeutend kleinern Leitungswerth der Zweige, als den hier vorhandenen, zu vermeiden haben, um das Ergebniss des Versuchs so auffallend, wie unten, zu erhalten.

Eine 17 Linien lange Rolle von 40 Windungen eines 30 Fuss langen, $^{17}/_{24}$ Linie dicken Kupferdrathes (eine von denen, welche Sauerwald dem Spiegelgalvanometer beigibt) wurde unmittelbar in den möglichst kurzen Schliessungsdrath der Batterie eingeschaltet. Von den Enden der Rolle gingen zwei $^{17}/_{24}$ Linie dicke Kupferdräthe zu der ihr gleichen Rolle des etwa 13 Fuss entfernten Galvanometers. Der eine Drath war an einer Stelle durchschnitten und konnte daselbst, durch zwei dünnere Dräthe, mit dem auf der Luftpumpe aufgeschraubten Ventile verbunden werden. In Fig. 8 sind die Drathrollen mit *r* und *r'*, der magnetische Spiegel ist mit *s* und das in Spitzenstellung befindliche Ventil mit *v* bezeichnet. Der in den beiden Zweigen erregte Nebenstrom hatte einen Drathkreis zu durchlaufen, der, die Rollen mitgerechnet, aus 109$^1/_4$ Fuss eines $^{17}/_{24}$ Linie dicken und 8$^1/_4$ Fuss eines $^{10}/_{24}$ Lin. dicken Kupferdrathes besteht.

Die Ablenkung am Galvanometer wurde zuerst bei ganz metallischer Schliessung beobachtet, zu welcher die beiden am Ventile befindlichen Drathenden miteinander verbunden waren. Die Ladung der Batterie war die bei den frühern

Versuchen gebrauchte Elektricitätsmenge 6 in drei Flaschen. Dann wurde die Beobachtung wiederholt, nachdem das Ventil eingeschaltet (Luftdruck darin $1^3/_4$ Linie), und ihm gegen den Entladungsstrom die eine und die andere Stellung gegeben war.

Magnetische Ablenkung durch einen Zweig des Schliessungsbogens, bei		
ganz metallischer Schliessung	Spitzenstellung des Ventils	Flächenstellung des Ventils
+ 2,0 Scalentheile	— 144	+ 123
+ 1,8	— 139	+ 121
+ 1,8	— 139	+ 126

In diesen Versuchen geht nur ein kleiner Theil des Entladungsstroms durch die Galvanometerrolle, und das Uebrige durch die Rolle *r* im Schliessungsdrathe; in dieser Rolle wird daher der grösste Theil des Nebenstroms erregt, und die Ablenkungen, bei metallischer Schliessung durch den Hauptstrom, und bei Einschaltung des Ventils durch den Nebenstrom, sind nicht miteinander vergleichbar. Die Richtung der grossen Ablenkungen wird durch die Regel des Nebenstroms bestimmt. Dass diese Ablenkungen überwiegend von der Rolle *r* abhangen, zeigt sich auch darin, dass sie am grössten sind bei der Spitzenstellung des Ventils, wobei in jener Rolle der dem Hauptstrome gleichgerichtete Nebenstrom zu Stande kommt, der, seiner grössern Dichtigkeit wegen, stets vollständiger durch das Ventil geht, als der entgegengerichtete Nebenstrom.

23. *In dem Vorstehenden ist die merkwürdige Eigenschaft des elektrischen Ventils aufgezeigt worden, von den beiden elektrischen Strömen entgegengesetzter Richtung, welche den Nebenstrom der Batterie zusammensetzen, nur Einen durch die Stellung des Ventils bestimmten, Strom zu Stande kommen zu lassen. Ich muss wiederholt die unerwartete Sicherheit hervorheben, mit der diese Trennung entgegengesetzter Ströme von einem normal ein-

* Poggendorff's Ann. 124. 252. (1865.)

gerichteten Ventile vollzogen wird. Unter der grossen Zahl von Beobachtungen, die ich zu verschiedenen Zeiten angestellt habe, bei welchen die im Ventile vom Strome zu durchsetzende Luftstrecke 1 Linie, und der Luftdruck darin 1 Linie bis 2 Linien Quecksilber betrug, ist kein Fall vorgekommen, in welchem nicht die Ablenkung des magnetischen Spiegels im Sinne eines Stromes erfolgte, der im Ventile von der Scheibe zur Spitze verläuft.

Wie vorauszusehn, erstreckt sich die Constanz, die in Bezug auf die Richtung herrscht, nicht auf die Grösse der Ausschläge. Die beiden durch die Induction geschiedenen Elektricitäten, die den einen wie den andern Theil des Nebenstroms bilden, haben zwei Wege, auf welchen sie sich wieder vereinigen können; einmal in der Richtung, in der sie getrennt wurden, wobei sie durch das Ventil gehen müssen; das andremal in entgegengesetzter Richtung auf ganz metallischer Bahn. Nur auf dem ersten Wege können sie die magnetische Ablenkung bewirken. Nun ist aus den einfachsten, bereits aufgeführten Beobachtungen ersichtlich, dass diese zwiefache Ausgleichung bei jedem Versuche statt findet. Werden die beiden einander entgegengerichteten Ströme, die den Nebenstrom bilden, nach einander durch das Gewinde des Galvanometers geschickt, so erfolgt keine magnetische Ablenkung; in jedem von beiden Strömen ist also genau dieselbe Elektricitätsmenge in Bewegung. Dennoch wurden selten Ausschläge von gleicher Grösse erhalten, als mit Hülfe des Ventils jeder Strom einzeln gebraucht wurde. Im Allgemeinen waren die Ablenkungen, welche der dem Hauptstrome gleichgerichtete Nebenstrom hervorbrachte, merklich grösser als die durch den entgegengerichteten Strom bewirkten. Auch durch ein und denselben Strom sind Ausschläge der verschiedensten Grösse hervorgebracht worden je nach dem Luftdrucke im Ventile; bei fortgesetzter Vermehrung des Druckes von 2 Linien bis 28 Zoll haben die Ausschläge zuerst in bedeutendem Grade abgenommen, um dann später wieder zu steigen. Es folgt hieraus, dass die magnetischen Ablenkungen, welche der durch das Ventil

gegangene Nebenstrom hervorbringt, nicht die ganze im Strome bewegte Elektricitätsmenge angeben, sondern nur einen Theil davon, und dass dieser Theil veränderlich ist, wenn auch der Hauptstrom und die Nebenschliessung durchaus unverändert geblieben sind.

24. Bei unmittelbar auf einander folgenden Wiederholungen eines Versuchs sind die Ausschläge durch den Nebenstrom, wie ich an mehren Beispielen gezeigt habe, nicht erheblich von einander verschieden. Wiederholt man aber den Versuch nach längerer Zeit, so erhält man häufig bedeutend abweichende Ausschläge, ohne dass die Ursache davon ersichtlich wäre. Durch den Gebrauch wird das Ventil sichtlich verändert; auf der Mitte der Messingscheibe entsteht ein brauner Fleck, wenn ein höherer Luftdruck angewendet war, eine blaue rothgesäumte Ringfigur. Diese Ursache einer veränderten Ablenkung ist leicht zu beseitigen, schwerer die folgende. Die Endfläche des Platindraths in der Deckplatte wird durch die Versuche matt und höckerig, und dadurch werden die Ausschläge am Galvanometer sehr unsicher. Gelang es mir auch, längere Zeit hindurch die Platinfläche durch sorgsames Glätten wieder brauchbar herzustellen, so war ich doch zuletzt genöthigt, in beiden von mir benutzten Ventilen die Platindräthe durch neue ersetzen zu lassen.

Bei aller Sorgfalt in der Behandlung des Ventils bleibt die Sicherheit eines Ausschlages durch den Nebenstrom weit zurück gegen die durch den Hauptstrom, ist jedoch bei einigen Versuchen grösser als bei andern. Bei grösserer Dichtigkeit des Nebenstroms hat der Zustand des Ventils geringern Einfluss auf die Ablenkung, und es ist früher (6) bemerkt worden, dass die Ausschläge durch den dichteren, dem Hauptstrome gleichlaufenden Nebenstrom constanter sind, als die andern. Ich werde deshalb im Folgenden zumeist die mit jenem Strome angestellten Versuche anführen, und überhaupt auf die Aenderung der Ablenkung, die dem Ventile zugeschrieben werden muss, keine Rücksicht nehmen.

25. Wesentliche Aenderungen erfährt die magnetische Ablenkung, wenn der Nebenstrom, der sie hervorbringt, geändert wird, sei es unmittelbar durch die Zusammensetzung seines Schliessungskreises, sei es mittelbar durch Aenderung des ihn erregenden Hauptstromes. Diese Aenderungen sollen zuerst aufgezeigt werden. Ihre Werthe sind nicht so constant zu erhalten, um aus ihnen das Gesetz ihrer Abhängigkeit abzuleiten, das übrigens, als nur für das angewandte Ventil geltend, von geringem Interesse sein würde. Aber dass überhaupt eine Aenderung eintritt, ist wichtig, da hierdurch die Ablenkungen, welche der Haupt- und der Neben-Strom bewirkt, gänzlich von einander geschieden werden. Ein Bedenken, welchen von beiden Strömen eine beobachtete Ablenkung zuzuschreiben sei, kann nach den folgenden Erfahrungen durch wenige Versuche endgültig beseitigt werden. Ich werde darauf Versuche über den Nebenstrom in der Hauptschliessung folgen lassen, und dann eine eigenthümliche Erregung der Ströme höherer Ordnung beschreiben, die einen Unterschied zwischen diesen Strömen und dem sekundären Strome begründet.

Ablenkung durch den Nebenstrom bei Aenderung des Hauptstromes.

26. Der Entladungsstrom der Batterie wird geändert, wenn die in der Batterie angehäufte Menge von Elektricität oder ihre Dichtigkeit, oder die Dimensionen oder die Beschaffenheit des Schliessungsbogens geändert werden. Diese Aenderungen treten in der Wärmewirkung des Stromes hervor und haben sich dort bestimmt formulirten Gesetzen unterwerfen lassen. Anders ist es, wenn man den Strom auf magnetische Ablenkung prüft. Diese zeigt sich allein von der Elektricitätsmenge abhängig und zwar dieser Menge proportional. Bleibt die Menge constant, so ist es auch die Ablenkung, habe man mehr oder weniger Flaschen zur Batterie genommen, einen Schliessungsbogen von diesem oder jenem Metalle, von den verschiedensten Dimensionen gebraucht, ihn durch Luft oder Flüssigkeiten unterbrochen,

ihn zu einer Spirale aufgerollt oder andere Aenderungen mit ihm vorgenommen. Den bekannten Prüfungen dieses Satzes füge ich eine neue hinzu, bei welcher sich ein elektrisches Ventil mit 1 Linie Luftdruck in der Schliessung der Batterie befand, die möglichst kurz und gut leitend, nur gerade Formen enthielt bis auf die zur Beobachtung nöthige Galvanometerrolle von 30 Fuss Drathlänge. Es wurde die Elektricitätsmenge 10 gebraucht. Ein Scalentheil entsprach 1,14 Bogenminute.

Ablenkung durch den Hauptstrom der Batterie.

Flaschenzahl	2	3	7
Einschaltung in die Schliessung	Ausschlag am Galvanometer		
keine	11,5	11,6	11 Scalenth.
Platindrath 101′,7 lang, 0‴,0554 dick		11,4	
dest. Wasser. Säule 14 1/3″ lang, 1 1/3‴ dick		11,2	

Die magnetische Ablenkung durch den Entladungsstrom der Batterie bleibt, auch bei Unterbrechung seiner Schliessung durch das elektrische Ventil, nahe dieselbe, die constante Elektricitätsmenge mag in mehr oder weniger Flaschen angesammelt, der Leitungswerth der Schliessung noch so verschieden sein.

Jede Aenderung des Hauptstromes zieht eine entsprechende Aenderung des Nebenstroms nach sich, welche, wenn man eine ganz metallische Nebenschliessung benutzt, in der Erwärmung auf das Bestimmteste hervortritt. Die magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom fehlt ganz bei metallischer Nebenschliessung, man kann sie bei geändertem Hauptstrome nur in der Weise prüfen, dass ein Ventil in die Schliessung eingeschaltet und dadurch nur Einer der beiden Theile des Nebenstroms zum Kreislaufe gebracht wird.

27. Der Schliessungsbogen der Batterie war aus gutleitenden Metallstücken zusammengesetzt und in ihn eine ebene Spirale von 5 3/4 Zoll Durchmesser eingeschaltet, die aus einem 13 Fuss langen, 0,55 Linie dicken Kupferdrathe bestand. Dieser Spirale stand die ihr gleiche Nebenspirale in 1 Linie

Entfernung normal gegenüber und von den Enden der letztern waren Dräthe zu der Rolle des Spiegelgalvanometers geführt in der Art, dass ein auf der Luftpumpe befindliches elektrisches Ventil mit in die Schliessung gebracht war (22ⁿ). Die Schliessung der Nebenspirale wurde so durch einen 79 Fuss langen, $^{17}/_{24}$ Linie dicken Kupferdrath (davon 30′ auf der Galvanometerrolle), 8 ¼ Fuss eines $^{10}/_{24}$ Linie dicken Kupferdrathes und die 1 Linie lange Luftstrecke im Ventile bewirkt, das bis auf 1 Linie Quecksilberdruck exantlirt war.

Um im Hauptstrome die Elektricitätsmenge allein ändern zu können, musste zur Batterie eine verschiedene Anzahl von Flaschen genommen werden. Die folgenden Beobachtungen, wie alle, bei welchen das (positive) Vorzeichen der Ausschläge am Galvanometer fortgelassen ist, sind mit dem dem Hauptstrome gleichgerichteten Nebenstrome angestellt. Das Galvanometer war empfindlicher als in der ersten Abhandlung, die Elektricitätsmenge ist, wie dort, an der Maassflasche abgezählt, deren Kugeln ½ Linie von einander entfernt standen.

Die Elektricitätsmenge	in	Flaschen gab den Ausschlag
3	2	13 Scalenth.
6	4	25
9	6	37

Die Ausschläge sind so genau, wie sich erwarten liess, proportional der Elektricitätsmenge in der Batterie und demnach der im Nebenstrome in Bewegung gesetzten Elektricitätsmenge.

28. Bei unveränderter Batterie wächst mit gesteigerter Elektricitätsmenge die Dichtigkeit derselben, aber die durch den Hauptstrom bewirkte magnetische Ablenkung bleibt proportional der angesammelten Elektricitätsmenge. Bei dem Nebenstrome ist Dies nicht der Fall. Es wurden drei Flaschen der Batterie gebraucht, bei gesteigerter Ladung derselben bewirkte der Nebenstrom die folgenden Ablenkungen:

Elektricitätsmenge	q	2	4	6	8	10	
Ausschlag	e	6	16	32	49	62	Scalentheile
	$\frac{e}{q}$	3	4	5,3	6,1	6,2	

Die Ausschläge steigen in grösserem Verhältnisse, als die zur Ladung der Batterie gebrauchte, also auch als die im Nebenstrome bewegte Elektricitätsmenge. Es folgt aus diesen und den vorigen Beobachtungen, dass die Ablenkungen bei constanter Elektricitätsmenge mit der Dichtigkeit zunehmen, wie sich leicht direct zeigen lässt. Als die Luft im Ventile 2 Linien Druck hatte, gab die Elektricitätsmenge 10 aus

	7	5	3	Flaschen entladen
die Ausschläge	33	48	58	

Wie begreiflich, gelten diese Ausschläge nur für das gebrauchte Ventil und den Zustand, in dem es sich befand. In jedem Falle ist eine Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie zu finden, bei welcher der Nebenstrom gar nicht durch das Ventil geht, das Licht darin und die magnetische Ablenkung ausbleiben, und bei nur wenig gesteigerter Dichtigkeit ist der durch das Ventil gehende Theil des Stromes sehr veränderlich, die Grösse des Ausschlages unsicher.

Die nachgewiesene Abhängigkeit der Ablenkung von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie lässt schliessen, dass die Geschwindigkeit, mit welcher der Nebenstrom in das Ventil tritt, nicht unter eine Gränze sinken darf, bei welcher er in anderer Richtung zurückgeht, als in der er erregt worden. Je weiter die Geschwindigkeit über diese Gränze hinausreicht, desto mehr von der erregten Elektricität geht durch das Ventil und demnach durch das Galvanometer. Hiernach müssen alle Einrichtungen, welche die Geschwindigkeit des Hauptstroms und damit die des Nebenstroms ändern, die Ablenkungen in gleichem Sinne ändern.

29. Die bekannteste und am häufigsten benutzte Weise, die Geschwindigkeit des Entladungsstroms zu ändern, besteht in der Aenderung der Batterieschliessung. Es wurden

in den bisher benutzten gutleitenden Schliessungsbogen der aus drei Flaschen bestehenden Batterie verschiedene Längen eines dünnen Platindrathes eingeschaltet, die Elektricitätsmenge 10 zur Ladung gebraucht und die Ablenkung beobachtet, die der Nebenstrom bewirkte. Luftdruck im Ventile 2 Linien.

Einschaltung in d. Hauptschliessung. Platindrath 0,0554 Lin. dick.	Durch den Nebenstrom. Ausschlag am Galvanometer.
0	56 Scalenth.
0,48 Fuss	27,5
1,95	14
9,78	9
19,55	4,7
39,1	0

Man erkennt den grossen Einfluss, den der Leitungswerth der Hauptschliessung auf die Ablenkung ausübt, die der Nebenstrom hervorbringt. Selbstverständlich ist dabei dieser Strom durch ein Ventil gegangen, was ich von hier an nicht immer bemerken will. Wie stark man auch die Batterie geladen haben mag, es wird sich stets eine Länge eines beliebigen Drathes finden lassen, bei dessen Einschaltung in den Hauptbogen keine Ablenkung durch den Nebenstrom zu erlangen ist. Um möglichst grosse Ablenkungen durch den Nebenstrom zu erhalten, hat man daher den Hauptbogen aus kurzen gutleitenden Stücken zusammenzusetzen. Die Ablenkungen durch den Hauptstrom, auch wenn er durch ein Ventil geschickt wird, sind von der Zusammensetzung des Schliessungsbogens unabhängig (26).

30. Von den zusammengesetzten Vorrichtungen, die Geschwindigkeit des Hauptstromes zu ändern, will ich nur Eine aufführen, die leicht herzustellen ist. Wenn sich in der Hauptschliessung eine ebene Spirale befindet, so wird die durch die Entladung der Batterie erregte Erwärmung der Schliessung in hohem Grade vermindert dadurch, dass ein unächtes Silberblatt der Spirale nahe gestellt wird (Elektricitätslehre §. 842). Hieraus ist auf die Verminderung der Geschwindigkeit des Stromes geschlossen worden.

Eine cylindrische Spirale von 16¾ Windungen war aus einem 13 Fuss langen, $^{17}/_{24}$ Linie dicken Kupferdrathe, der mit Guttapercha umpresst war, auf eine Papprolle gewickelt und darüber eine ähnliche Spirale von 14⅙ Fuss Drathlänge. Die untere Spirale wurde in die Hauptschliessung der Batterie, die obere in die Nebenschliessung eingeschaltet, in der sich das Ventil und die Galvanometerrolle befand. In der Hauptschliessung war eine der beiden bisher benutzten ebenen Spiralen von 13 Fuss Drathlänge angebracht, und diese wurde abwechselnd frei gelassen und mit einem zwischen zwei Glasscheiben gelegten Blatte unächten Silberpapiers bedeckt. Nach Ladung von drei Flaschen mit der Elektricitätsmenge 10 erhielt ich durch den Nebenstrom

	Die magnetischen Ausschläge.		
bei freier Spirale	80	78	77 Scalenth.
bedeckter	34	39	43

Die verminderte Geschwindigkeit des Hauptstroms hat also eine bedeutende Verminderung der durch den Nebenstrom bewirkten Ablenkung zur Folge. Die stark von einander abweichenden Ausschläge bei bedeckter Spirale sind dadurch erklärlich, dass die Beschaffenheit des Silberpapiers sich von Versuch zu Versuch ändert, indem die Metalldecke an verschiedenen Stellen fortbrennt, wie das Leuchten des Papiers bei der Entladung und der spätere Anblick desselben zeigt.

31. Die mitgetheilten Versuche sind bei solcher Stellung des Ventils angestellt, dass der dem Hauptstrome gleichgerichtete Theil des Nebenstroms die Scheibe des Ventils traf, die Ablenkungen im Sinne dieses Stromes erfolgten. Alle angegebenen Aenderungen der Ablenkung waren aber nicht weniger deutlich, wenn durch entgegengesetzte Stellung des Ventils der dem Hauptstrome entgegengerichtete Nebenstrom zur Wirkung auf das Galvanometer gebracht wurde. Das Ergebniss der Versuche ist ohne Beschränkung auszusprechen: *Die durch den Nebenstrom bewirkte magnetische Ablenkung ist proportional der in der Batterie angehäuften Elektricitätsmenge; sie ändert sich in gleichem Sinne mit der Dich-*

tigkeit dieser Elektricität, dem Leitungswerthe des Hauptbogens und mit der durch andere Mittel bestimmten Geschwindigkeit des Entladungsstromes.

Das Gesetz dieser Aenderung variirt mit der Beschaffenheit des Ventils, aber jedenfalls ist die Ablenkung desto grösser, je grösser die elektrische Dichtigkeit in der Batterie, je besser die Leitung in der Hauptschliessung, je grösser überhaupt die Geschwindigkeit des Hauptstroms ist.

Ablenkung durch den Nebenstrom bei Aenderung der Nebenschliessung.

32. Aenderungen des Nebenstroms, die in seiner erwärmenden Wirkung erkannt wurden, sind theils durch Verlängerung der Nebenschliessung durch Platindräthe hervorgebracht worden (Elektricitätslehre §. 828), theils dadurch, dass der nicht erregte Theil der Schliessung in verschiedene Formen gelegt wurde, die ich als N- und U-Formen bezeichnet habe (daselbst §. 886). Mit solchen Aenderungen wurde nun die Ablenkung geprüft.

Der Nebenstrom wurde, wie oben beschrieben ist (27), in einer ebenen Spirale erregt, deren Enden mit dem Ventile und der Galvanometerrolle in Verbindung standen. In diese Leitung waren zwei ½ Linie dicke Kupferdräthe eingeschaltet (zusammen 6¼ Fuss lang), deren Enden durch verschiedene Längen Platindrath mit einander verbunden wurden. Die Ladung von drei Flaschen geschah mit der Elektricitätsmenge 10, der Luftdruck im Ventile betrug 2 Linien.

Einschaltung in d. Nebenschliessung Platindrath 0,0554 Lin. dick	Ausschlag am Galvanometer
0	57 Scalentheile
1,95 Fuss	42
3,91	30,5
7,82	17,5
15,64	9
23,46	6
39,1	3

Durch den in die Nebenschliessung eingeschalteten Drath und seine Verlängerung ist der Ausschlag am Galvanometer von 57 bis auf 3 Scalentheile gesunken; es ist versäumt worden, ihn ganz verschwinden zu lassen, was durch eine grössere Länge des Platindraths, als die zuletzt gebrauchte, geschehn wäre.

In dem vorigen Abschnitte ist die Geschwindigkeit des Nebenstroms dadurch vermindert worden, dass er von einem langsameren Hauptstrome erregt wurde, hier wird diese Verminderung unmittelbar durch Verlängerung der Bahn des Stromes bewirkt. Die Wirkung auf die Ablenkung ist dieselbe, wie früher; mit je geringerer Geschwindigkeit der Nebenstrom in das Ventil eintritt, ein desto kleinerer Theil seiner Elektricitätsmenge geht hindurch. Beiläufig mag daran erinnert werden, dass auch hier eine mittelbare Veränderung der Geschwindigkeit des Nebenstroms Statt hat, da Einschaltungen in die Nebenschliessung den Hauptstrom verzögern. Diese mittelbare Ursache der Verzögerung des Nebenstroms ist aber der unmittelbaren untergeordnet, was sich daraus ergibt, dass die Verzögerung des Hauptstroms ein Maximum hat, das in jedem Falle bei einer bestimmten Länge des eingeschalteten Drathes eintritt, die unmittelbare Verzögerung des Nebenstroms aber mit der Drathlänge stetig zunimmt.

33. Als von drei identischen Dräthen der eine in weiten Bogen ausgebreitet, der andere zu einer Spirale aufgewunden, der dritte in eine Anzahl gleichliegender U gebogen war, und jeder Drath successiv zu einer Nebenschliessung hinzugesetzt wurde, fand sich der schwächste (erwärmende) Nebenstrom bei Einschaltung der N-Form (der Spirale), der stärkste bei Einschaltung der U-Form. Der erste Strom verhielt sich zum letzten wie 60 zu 114[1]). Um eine Unklarheit bei der Deutung dieser Versuche zu entfernen, wiederholte ich dieselben später mit zwei langen an einander gebundenen Dräthen, bei welchen die N-Form durch Ver-

---

1) Poggendorff's Annalen 83. 330.

bindung zweier entgegengesetzten, die U-Form durch Verbindung zweier gleichliegenden Drathenden hergestellt wurde. Die Aenderung des Nebenstroms war hierbei viel grösser als früher, denn der schwächste Strom verhielt sich zum stärksten wie 3 zu 16 [1]).

Da es bei den Ablenkungen durch den Nebenstrom mehr auf den Sinn ihrer Aenderung, als auf deren Grösse ankommt, so habe ich zu den folgenden Versuchen die erste bequemere Einrichtung gebraucht. Ein Kupferdrath, 53 Fuss lang, $^5/_8$ Linie dick, war auf Seidenschnüren ausgebreitet, ein zweiter gleicher Drath zu einer ebenen Spirale von nahe 1 Fuss grössten Durchmesser gewunden, ein dritter auf einem Brette zu 25 U von gleichgelegner Oeffnung gebogen (U-Tafel). Drei Flaschen mit Elektricitätsmenge 10. Luftdruck im Ventile $1\,^1/_2$ Linie.

Einschaltung in d. Nebenschliessung	Ausschlag am Galvanometer
53 Fuss Drath in gerader Form	52 Scalentheile
N-Form	31
U-Form	57

Die Verstärkung des Ausschlags durch die U-Form des Drathes war nur gering, aber bei jeder Wiederholung des Versuches merklich. Sie lässt sich mit einer U-Tafel nicht weit bringen, weil die einzelnen U entweder einander zu nahe kommen, oder ihre Zahl zu gering wird. Um eine grössere Verstärkung aufzuzeigen, würde man den oben erwähnten langen Doppeldrath anwenden müssen. Bei der Spirale ist kein Hinderniss, ihre Wirksamkeit grösser zu machen als gezeigt wurde. So finde ich einen Versuch, in welchem ein 30 Fuss langer, mit Guttapercha bekleideter, $^{17}/_{24}$ Linie dicker Kupferdrath in gerader Form und zu einer cylindrischen Spirale von 40 Windungen in vier Lagen aufgerollt, folgende Ablenkungen gab. Es war nur die Elektricitätsmenge 6 in drei Flaschen gebraucht worden. Luftdruck im Ventile $1\,^1/_2$ Linie.

---

1) Monatsberichte 1862. 352. Oben S. 296.

Einschaltung in d. Nebenschliessung	Ausschlag am Galvanometer
keine	31 Scalenth.
30 Fuss Kupferdrath in gerader Form	31
N-Form	16

Durch Einschaltung einer Rolle von 78 Fuss eines mit Kautschuk bekleideten, $^{5}/_{12}$ Linie dicken Kupferdraths in die Nebenschliessung habe ich einen Ausschlag von 60 Scalentheilen auf 8 vermindert gesehn, was zum bei Weitem grössten Theile der Form des Drathes beizumessen ist.

34. Dass die verschiedene Geschwindigkeit des Nebenstroms bei verschiedener Form seiner Schliessung durch einen tertiären Strom in der Schliessung bewirkt wird, haben die Beobachtungen der Erwärmung gelehrt, deren Verminderung vollständig aufgehoben wurde, wenn bei N-Form der Schliessung dieser Form ein vollkommen geschlossener Drath nahe gelegt war[1]). Bei Anwendung von Spiralen war die Aufhebung der Aenderung nicht vollständig, aber merklich genug. Dies ist auch der Fall, wenn man den Nebenstrom auf seine magnetische Ablenkung prüft. Ueber eine Rolle (32 Windungen in einer Lage) eines 30 Fuss langen, $^{17}/_{24}$ Linie dicken Kupferdraths wurden 32 Fuss desselben Drathes in 30 Windungen gelegt. Die Rolle wurde in eine Nebenschliessung eingeschaltet und die Ablenkung geprüft, je nachdem die Enden des obern Drathes frei lagen, oder mit einander verbunden waren.

Ausschlag	Ohne Einschaltung	Rolle eingeschaltet	Oberer Drath geschlossen
am Galvanometer	63	40	54 Scalenth.

Aus den Versuchen dieses Abschnittes folgt: *Mit der Geschwindigkeit des Nebenstroms, welche die Einrichtung der Nebenschliessung bedingt, ändert sich die vom Strome bewirkte magnetische Ablenkung in gleichem Sinne.*

---

1) Monatsberichte 1862. 352. Oben S. 297.

Ablenkung durch den Nebenstrom der Hauptschliessung.

35. Die möglichst kurze gutleitende Hauptschliessung der Batterie theilte sich in zwei völlig gleiche Zweige, und jeder Zweig enthielt eine Rolle von 40 Windungen in vier Lagen, die aus 30 Fuss eines $^{17}/_{24}$ Linie dicken Kupferdraths bestand. Die eine Rolle stand dicht hinter dem magnetischen Spiegel, die andere so weit von ihm entfernt, dass sie ohne Wirkung auf ihn blieb (Fig. 7). In jedem Zweige befand sich ein elektrisches Ventil, so gestellt, dass der Entladungsstrom die Spitze des einen und die Scheibe des andern traf; bei ganz metallischer Schliessung fehlten die Ventile. Es wurden zuerst Beobachtungen wie in (21) angestellt, und darauf dieselben wiederholt, nachdem in jeden Zweig, zwischen dem Ventile und der Drathrolle, ein $4^3/_4$ Fuss langer Platindrath von 0,042 Linie Dicke eingeschaltet war. Die Elektricitätsmenge der Theilströme konnte durch diese Einschaltungen nicht verändert werden. Die Ladung war die Elektricitätsmenge 6 in drei Flaschen, der Luftdruck in den Ventilen $1^1/_2$ Linie. Die Lage des Ventils wird auf den Hauptstrom bezogen und für den Zweig angegeben, der den Spiegel ablenkt; im entfernten Zweige war sie die entgegengesetzte. Im Mittel aus drei Beobachtungen fand sich:

	Ausschlag am Galvanometer, bei		
	metallischer Schliessung	Spitzenstellung des Ventils	Flächenstellung des Ventils
Ohne Einschaltung	+ 4,1	− 81	+ 89 Scth.
Platindrath in jedem Zweige	+ 4,1	− 2,7	+ 9,5

Diese Versuche sind dadurch merkwürdig, dass sie an demselben Apparate zeigen, was früher an verschiedenen Apparaten nachgewiesen worden ist. Die magnetische Ablenkung durch den Hauptstrom wird durch Einschaltung des Platindraths in seine Bahn nicht verändert, wie in (26), die durch den Nebenstrom in hohem Grade vermindert. Die Ablenkung durch den Nebenstrom muss bei der Einschal-

tung aus zwiefachem Grunde kleiner sein, als ohne dieselbe. Einmal weil dem erregenden Hauptstrome, wie (29), dann weil dem Nebenstrome eine schlechtere Leitung gegeben worden ist (32).

36. Alle Versuche, die mit dem Nebenstrome eines Nebendrathes anzustellen sind, müssen sich mit dem Nebenstrome des Hauptdrathes wiederholen lassen. Es ist Dies selbstverständlich und die folgenden Versuche können wenig Neues über den Nebenstrom lehren, aber andern theoretisch einfacheren Versuchen als bequeme Corollare dienen.

Die Form des zuletzt beschriebenen Versuchs mit zwei gleichen Zweigen und zwei Ventilen wurde gewählt, um die Stromtheilung durch Einschaltungen in die Zweige nicht zu ändern. Die bequemere Form des Versuches, bei der nur Ein Ventil gebraucht wird (22^n), liefert ein nicht so einfaches, aber nicht minder schlagendes Ergebniss. Eine Rolle aus 30 Fuss Kupferdrath in vier Lagen bildete den einen Zweig des Schliessungsbogens, und der andere bestand aus den Leitungsdräthen zu der Galvanometerrolle, aus dieser selbst und dem elektrischen Ventile (Fig. 8). Nachdem Beobachtungen bei metallischer Schliessung und bei verschiedener Stellung des Ventils angestellt waren, wurde neben der Drathrolle ein Platindrath, 4¾ Fuss lang, 0,042 Lin. dick, eingeschaltet, so dass nun der kurze Zweig aus der Rolle und diesem Drathe bestand, während der lange Zweig unverändert blieb. Luftdruck im Ventile 1 Linie, Ladung Elektricitätsmenge 6 in drei Flaschen. Die Ausschläge sind Mittel aus drei Beobachtungen.

im kurzen Zweige	Ausschlag am Galvanometer, bei metallischer Schliessung	Spitzen-stellung des Ventils	Flächen-stellung des Ventils
keine Einschaltung	+ 1,7	— 141	+ 131 Scth.
Platindrath eingeschaltet	+ 6,9	— 5,7	+ 13,5

Die Einschaltung des Platindraths bewirkte, wie leicht erklärlich, eine bedeutende Vergrösserung der Ablenkung

durch den Hauptstrom und eine grössere Verminderung der Ablenkung durch den Nebenstrom. Die Theilung des Hauptstroms in den Zweigen ist nämlich in diesen beiden Versuchen eine sehr verschiedene; vor der Einschaltung des Platindraths ging ein sehr kleiner, nach derselben der grösste Theil des Hauptstroms durch die Galvanometerrolle. Der Nebenstrom wurde also zum grössten Theile zuerst in der vom Galvanometer entfernten Drathrolle, zuletzt in der Galvanometerrolle selbst erregt. Beide Rollen waren völlig gleich. Die Verminderung der Ablenkung durch den Platindrath ist auffallend gross. In (35) nämlich war ein ebensolcher Platindrath in jeden der beiden Zweige eingeschaltet, er wirkte also sowol auf den erregenden Hauptstrom, wie auf den erregten Nebenstrom, hier hingegen verringert der Platindrath allein den Leitungswerth des Kreises, den der Nebenstrom zu durchlaufen hat. Dennoch ist in der zuletzt gegebenen Versuchsreihe die Abnahme der Ablenkung durch die Einschaltung eben so gross, wie in der vorhergehenden. Es folgt daraus, dass der in einem Zweige erregte Nebenstrom den Hauptstrom in demselben Zweige verzögert, was ich früher durch Untersuchung der Wärmewirkung des Stromes gezeigt habe[1]).

37. Im vorigen Versuche ist der grösste Theil des Nebenstroms erst in der einen, dann in der andern Drathrolle erregt worden; man kann ihn aber stets in derselben Rolle erregen lassen, wenn man die Einschaltung im langen Zweige anbringt. Dadurch ist die Gelegenheit gegeben, an demselben Apparate den einfachen Versuch mit dem Nebenstrome anzustellen, dem der Versuch an dem Zweige als Corollar dient.

Von der Doppel-Rolle, aus 30 und 32 Fuss Drath gewunden (34), wurde die untere Rolle in den Schliessungsbogen der Batterie gebracht und an ihren Enden durch Kupferdräthe (im Ganzen 79¼ Fuss von $^{17}/_{24}$ und 8¼ Fuss von $^{10}/_{24}$ Linie Dicke) die Verbindung mit Ventil und Gal-

1) Monatsberichte 1859. 5 flg. Oben S. 67.

vanometer hergestellt. Nachdem die Ablenkung bei ganz metallischer Schliessung und bei beiden Stellungen des Ventils beobachtet war, wurde an dem vordern Ende der Drathrolle ein Platindrath ($4^3/_4$ Fuss lang, 0,042 Linie dick) eingeschaltet und die Beobachtung wiederholt. In Fig. 9 ist die Rolle *r*, das Galvanometer *g*, das Ventil *v* (gegen den Hauptstrom in Spitzenstellung) der eingeschaltete Platindrath *p* angedeutet. Dann wurden die Enden der zum Galvanometer führenden Dräthe von der untern Rolle gelöst und an der darauf liegenden Rolle befestigt, die Ablenkung also durch den in einer Nebenschliessung circulirenden Nebenstrom hervorgebracht. Bei ganz metallischer Schliessung findet hier keine Ablenkung statt. In Fig. 10 ist die obere Drathrolle mit *r'* bezeichnet, das Ventil *v* steht in Flächenstellung, wenn seine Stellung, wie gewöhnlich, auf den dem Hauptstrome gleichgerichteten Nebenstrom bezogen wird; ich werde indess, um die Identität des Versuchs in beiden Anordnungen anschaulicher zu machen, die erste Bezeichnung beibehalten. Die folgenden Ausschläge sind Mittel aus zwei Beobachtungen, zur Ladung von drei Flaschen diente wie früher die Elektricitätsmenge 6, der Druck im Ventile betrug 1 Linie.

Nebenstrom der Hauptschliessung.

	Ausschlag am Galvanometer, bei		
	metallischer Schliessung	Spitzenstellung (Fig. 9) des Ventils	Flächenstellung
ohne Einschaltung	+ 2,3	— 100,5	+ 91,5 Scth.
Platindrath eingeschaltet	0	— 11,5	+ 10,5

Nebenstrom der Nebenschliessung.

		(Fig. 10)	
ohne Einschaltung		— 88	+ 77,5
Platindrath eingeschaltet		— 12,5	+ 9,5

Um die Abweichungen von dem Gesetze der Stromtheilung in einem verzweigten Schliessungsbogen zu erklären, habe ich im Jahre 1844 einen Nebenstrom in den Zweigen angenommen, der durch vorhergehende Erfahrungen sehr wahrscheinlich gemacht war. Seit der Zeit habe ich das

Vorhandensein dieses Nebenstroms durch viele zum Theil mühsame Versuche, wie ich glaube, genügend nachgewiesen. Dennoch dürfte der eben beschriebene Doppelversuch nicht unwillkommen sein, da er einfach und leicht anzustellen, einen Zweifel an jenem Strome, wenn er noch bestehen sollte, in anschaulicher Weise beseitigt.

38. Ein Nebenstrom wird geschwächt, wenn dem erregten Theile seiner Schliessung ein vollkommen geschlossener ihm paralleler Drath nahe gelegt ist.

Um einen 6½ Zoll breiten Holzcylinder waren drei Kupferdräthe, jeder 53 Fuss lang, $^7/_{12}$ Linie dick, je 1 Linie von einander entfernt, neben einander zu drei Spiralen gewunden (Elektricitätslehre §. 865). Die erste Spirale wurde in den Schliessungsbogen der Batterie eingeschaltet und ihre Enden mit den zur Galvanometerrolle und zum Ventile führenden Dräthen wie in Fig. 9 verbunden. Die Enden der zweiten und dritten Spirale blieben frei bei den Ausschlägen der ersten Zeile der folgenden Tafel. Bei den Ausschlägen der zweiten Zeile waren die Enden der zweiten Spirale durch einen wenige Zolle langen Kupferdrath geschlossen. Um diesen Versuch an dem vom Hauptstrome getrennten Nebenstrome zu wiederholen, wurden, wie in Fig. 10, die Leitungsdräthe an den Enden der zweiten Spirale befestigt und die Enden der dritten Spirale zuerst frei gelassen, dann durch den kurzen Kupferdrath geschlossen. Ladung: Elektricitätsmenge 6 in drei Flaschen, Druck im Ventile 1 Lin. Die Stellung des Ventils wird hier in beiden Fällen auf den dem Hauptstrome gleichgerichteten Nebenstrom bezogen.

	Nebenstrom der Hauptschliessung.		
	Ausschlag am Galvanometer, bei		
der Nebendrath	metallischer Schliessung	Spitzenstellung des Ventils	Flächenstellung des Ventils
frei	+ 3,3	— 118	+ 128 Scth.
geschlossen	+ 3,4	— 29	+ 21
	Nebenstrom der Nebenschliessung.		
frei		— 108	+ 110
geschlossen		— 2	+ 3

Der geschlossene Nebendrath erniedrigt in hohem Grade die Ausschläge, welche der Nebenstrom der Hauptschliessung, wie der der Nebenschliessung bewirkt. Dass die Erniedrigung im letzten Falle bedeutend grösser ist als im ersten, hat nichts Auffallendes; der Nebendrath hatte in beiden Fällen dieselbe Entfernung von dem erregten Drathe, aber die Erregung geschah im ersten Falle in dem Drathe der Hauptschliessung selbst, im zweiten in einem von ihr entfernten Drathe.

39. Ein Nebenstrom, in einer cylindrischen Spirale erregt, wird geschwächt, die durch ihn bewirkte Ablenkung vermindert, wenn eine Metallröhre in die Höhlung der Spirale gebracht wird. Dies ist bei allen Versuchen über die Ablenkung durch den Nebenstrom der Hauptschliessung der Fall gewesen, da die Kupferbüchse, die den magnetischen Spiegel einschliesst, in die Galvanometerrolle hineinragt, und die Schwächung musste am grössten gewesen sein, wo der Nebenstrom ganz (22) oder grösstentheils in dieser Rolle erregt war (36). Die Kupferbüchse hat einen Durchmesser von 22 Linien bei einer Länge von 13 Linien und geht $4^1/_4$ Linien in die Drathrolle hinein, deren Axe 17 Linien beträgt. Der Zwischenraum zwischen der Büchse und der untersten Drathlage, nicht genau bestimmbar, ist etwa $2^1/_2$ Linien. Ich wiederholte den in (22^n) und (36) beschriebenen Versuch, bei welchem eine der Galvanometerrolle gleiche Drathrolle im Schliessungsbogen angebracht war, und in dieser der grösste Theil des Nebenstroms erregt wurde. Ein massiver Kupfercylinder, von gleichen Dimensionen mit der Kupferbüchse des Galvanometers, wurde in die Drathrolle des Schliessungsbogens geschoben, so dass er $4^1/_4$ Linien der Axe der Rolle einnahm. Die magnetische Ablenkung durch den dem Hauptstrome gleichgerichteten Nebenstrom wurde dadurch im Verhältnisse 100 zu 89 vermindert, die durch den entgegengesetzten Strom im Verhältnisse 100 zu 88.

40. Von grösstem Einflusse auf den Nebenstrom der Hauptschliessung der Batterie ist die *Form* dieser Schlies-

sung. Der Strom erhält die grösste Elektricitätsmenge bei der N-Form, eine kleinere bei der geraden, die kleinste bei der U-Form der Schliessung. Dies lässt sich durch die magnetische Ablenkung in auffallender Weise zeigen.

Ein 53 Fuss langer, 5/8 Linie dicker Kupferdrath, auf Seidenschnüren ausgebreitet, wurde in die kurze Schliessung der Batterie eingeschaltet und von seinen Enden eine Leitung in beschriebener Weise zu Galvanometer und Ventil fortgeführt. Der Drath wurde dann durch einen gleichen, zu einer ebenen Spirale gewundenen, zuletzt durch einen gleichen Drath ersetzt, der in 25 gleichliegende U gebogen war (33). Elektricitätsmenge 6 in drei Flaschen, Druck im Ventile ½ Linie, die Stellung desselben auf den Hauptstrom bezogen. Die Ausschläge sind Mittel aus zwei Beobachtungen.

Nebenstrom der Hauptschliessung.

Form der Schliessung	Ausschlag am Galvanometer, bei metallischer Schliessung	Spitzenstellung des Ventils	Flächenstellung des Ventils
gerade	+ 3,0	— 66	+ 63 Scth.
ebene Spirale	+ 3,0	— 116	+ 111
25 U	+ 3,2	— 10,0	+ 11,3

Die bei gleicher Stellung des Ventils von einander sehr verschiedenen Ausschläge rühren her von dem in den beiden Zweigen des Hauptdraths erregten Nebenstrome, der eine verschiedene Elektricitätsmenge erhielt, je nachdem die Form des einen Zweiges die eine oder andere war, während der andere Zweig ungeändert blieb. Die grössten Ausschläge erfolgten bei der N-Form, die kleinsten bei der U-Form des Zweiges. Die letzten Ausschläge sind, wie ich bei späterer Wiederholung fand, unsicherer als die andern, sie blieben aber stets auffallend klein. Zwar konnte der Nebenstrom in dem U-Drathe nur sehr schwach sein, denn als ich ihn in einem 1 Linie entfernten Nebendrathe von U-Form und 53 Fuss Länge erregen liess, wurde bei Flächenstellung des Ventils (auf den Hauptstrom bezogen) keine Ablenkung

bemerkt, bei der Spitzenstellung eine, die keinen ganzen Scalentheil betrug. Aber von dem in der Galvanometerrolle erregten Nebenstrome konnte auch bei Beachtung der langen Leitung, die er zu durchlaufen hatte, eine grössere Ablenkung erwartet werden, als die beobachtete. Auf die Theilung des Hauptstroms in den Zweigen hatte, wie die Ausschläge bei ganz metallischer Schliessung zeigen, die Formänderung des einen Zweiges keinen Einfluss.

Ablenkung durch Ströme höherer Ordnung.

41. Die Ströme höherer Ordnung, als der zweiten, werden von Inductionsströmen erregt, so dass bei ihnen nicht nur der erregte, sondern auch der erregende Strom aus einer geraden Anzahl von elektrischen Strömen mit abwechselnd entgegengesetzter Richtung zusammengesetzt ist. Von jedem solchen Stromcomplexe lässt ein normales elektrisches Ventil nur die Ströme Einer Richtung zu Stande kommen, die durch die Stellung des Ventils bestimmt wird. Normal wird ein Ventil genannt, wenn die Luft darin genügend verdünnt ist, was häufig noch bei einem Drucke von mehren Zollen, überall aber bei einem Drucke von zwei Linien Quecksilber der Fall ist. Entfernt man das Ventil von seiner normalen Einrichtung, indem man mehr und mehr Luft zulässt, so wird es ein Mittel, einen Nebenstrom beliebiger Ordnung von dem ihm vorangehenden oder folgenden Strome zu unterscheiden. Mit der Zunahme der Luft im Ventile sinken nämlich die beiderseitigen Ausschläge am Galvanometer, aber die nach der einen Seite langsam; die nach der entgegengesetzten sinken schnell und gehen zuletzt nach der ersten Seite. Bei jedem Nebenstrome verliert demnach die Stellung des Ventils von einem gewissen Luftdrucke an ihre Bedeutung, und die Wirksamkeit des Ventils wird darauf beschränkt, durch den Strom eine magnetische Ablenkung vorzugsweise nach einer bestimmten Seite zuwege zu bringen, welche die *vorwiegende Ablenkung* des Stromes heissen mag. Diese vorwiegende Ablenkung ist, wie ich früher bemerkt habe (17), sicherer durch die Abnahme der Ablen-

kung bei vergrössertem Luftdrucke im Ventile, als durch ihre Richtung bei hohem Drucke zu bestimmen. Es entspricht nun die vorwiegende Ablenkung bei den Nebenströmen gerader Ordnung einem dem Hauptstrome gleichgerichteten, bei den Strömen ungerader Ordnung einem ihm entgegengerichteten Strome (17), so dass z. B. durch dieses Merkmal der tertiäre Strom vom sekundären und vom Strome vierter Ordnung unterschieden ist. Ich versuchte, ob dieser Unterschied fortfiele, wenn bei der Erregung des tertiären Stromes der sekundäre Strom durch ein normales Ventil ging.

42. Der sekundäre Strom wurde mit Hülfe der kurzen ebenen Spiralen erregt, die Nebenspirale mit einer langen ebenen Spirale an entgegengesetzten Enden verbunden (13) und in die Verbindung ein normales Ventil eingeschaltet, durch dessen Stellung der sekundäre Strom dem Hauptstrome gleich- oder entgegenzurichten war. In der Schliessung der tertiären Nebenspirale befand sich die Galvanometerrolle und ein Ventil, in welchem der Luftdruck geändert wurde. Die Stellung dieses Ventils wird auf den dem Hauptstrome gleichlaufenden tertiären Strom, demnach wie früher (13) auf das Randende der letzten Spirale bezogen. Elektricitätsmenge 10 in drei Flaschen.

Druck im Ventile	Der sekundäre Strom dem Hauptstrome gleichlaufend — Ablenkung durch den tertiären Strom, bei Spitzenstellung des Ventils	gleichlaufend — Flächenstellung	entgegenlaufend — Spitzenstellung	entgegenlaufend — Flächenstellung
1¾ Lin.	— 42	+ 55	— 49,5	+ 30
1 Zoll	— 34	+ 10	— 11	+ 30
2	— 33	— 9	+ 6,5	+ 31
4	— 33	— 18	+ 10	+ 29
8	— 30	— 23	+ 12	+ 22

Wie die erste Versuchsreihe zeigt, ändert sich der Ausschlag mit vergrössertem Luftdrucke bei Spitzenstellung des Ventils sehr langsam, bei Flächenstellung sehr schnell; der

dem Hauptstrome gleichlaufende sekundäre Strom erregt einen tertiären Strom, dessen vorwiegende Ablenkung, gegen Erwartung, dem Hauptstrome entgegengerichtet ist. Völlig Dem entsprechend ist die zweite Versuchsreihe, denn der sekundäre Strom hat hier die entgegengesetzte Richtung, und die vorwiegende Ablenkung des tertiären Stromes ist hier wie dort, dem ihn unmittelbar erregenden Strome entgegengerichtet. Der Unterschied zwischen dem sekundären und dem tertiären Strome bleibt demnach bestehen, wenn auch der letzte durch einen einfach gerichteten sekundären Strom erregt worden ist.

43. Der Strom vierter Ordnung wurde in ähnlicher Weise, wie in (15) beschrieben ist, zu Stande gebracht, aber ein normales Ventil in den tertiären Kreis eingeschaltet, so gestellt, dass der tertiäre Strom dem Hauptstrome gleichgerichtet war. In gleicher Stellung befand sich ein Ventil im Kreise vierter Ordnung, als der Strom fünfter Ordnung wie (16) untersucht wurde. Die folgende Tafel gibt zur Vergleichung die Ausschläge bei steigendem Drucke im Ventile durch drei Ströme höherer Ordnung, von welchen jeder unmittelbar durch einen dem Hauptstrome gleichgerichteten Strom erregt wurde. Bei den beiden ersten Strömen waren drei Flaschen der Batterie mit der Elektricitätsmenge 10, bei dem dritten mit 15 geladen.

Ablenkung durch den Strom

	dritter		vierter		fünfter Ordnung	
Druck im Ventil	Spitzen-stellung	Flächen-stellung	Spitzen-stellung	Flächen-stellung	Spitzen-stellung	Flächen-stellung
$1^3/_4$ Lin.	— 42	+ 55	— 24	+ 30	— 24	+ 35
1 Zoll	— 34	+ 10	— 22	+ 3	— 28	+ 7
2	— 33	— 9	— 20	0	— 25	— 2
4	— 33	— 18	— 19	— 4	— 26	— 11
8	— 30	— 23	— 11	— 5	— 27	— 19

Diese verschiedenen Ströme verhalten sich in völlig gleicher Weise, sie geben bei steigendem Luftdrucke im Ventile eine langsame Aenderung der magnetischen Ausschläge,

wenn das Ventil in Spitzenstellung steht, eine schnelle bei Flächenstellung. Dass die Richtung der Ablenkung bei Flächenstellung mit dem ungewöhnlich geringen Drucke von wenig mehr als einem Zolle Quecksilber wechselt, halte ich nicht für wesentlich, da es bei dem später von mir untersuchten Strome sechster Ordnung, wobei die 13 Fuss langen Spiralen fehlten, nicht der Fall war, die verschiedene Abnahme der Ausschläge aber in eben dem Sinne, wie hier eintrat. Es folgt aus diesen Versuchen: *Wenn ein Strom höherer Ordnung durch einen einfach gerichteten Strom erregt wird, so ist die Richtung seiner vorwiegenden Ablenkung der Richtung des erregenden Stromes entgegengesetzt.*

44. Die beschriebene künstliche Erregung der Ströme höherer Ordnung hebt den Unterschied auf zwischen den Strömen gerader und ungerader Ordnung, was weniger auffällig ist, als dass dadurch alle Ströme höherer Ordnung das Merkmal der ungeraden Ordnung erhalten. Sie verhalten sich alle, wie bei der ungestörten Erregung der tertiäre Strom (14). Da bei der künstlichen Erregung das Ventil dem erregenden Strome Eine Richtung gibt, ihn also darin dem primären Strome gleichmacht, so konnte das Merkmal des sekundären Stromes erwartet werden. Die vorwiegende Ablenkung des sekundären Stromes erfolgt in der Richtung des ihn erregenden Stromes (Hauptstromes), gleichgültig, ob der Hauptstrom durch ein Ventil gegangen ist, oder nicht. Es findet also der merkwürdige Unterschied statt, dass die vorwiegende Ablenkung bei dem sekundären Strome der Richtung des ihn erregenden Stromes entspricht, bei allen Strömen höherer Ordnung ihr entgegengesetzt ist. Bei diesen Strömen wird die Richtung des erregenden Stromes willkürlich durch die Stellung des Ventils bestimmt. Geschieht Dies nicht, so wirkt jeder Strom erregend mit der Richtung seiner vorwiegenden Ablenkung, wodurch die Abwechselung der Merkmale der auf einander folgenden Ströme zu Stande kommt.

Als mittelbare Ursache des angegebenen Unterschiedes kann vorläufig der Umstand angenommen werden, dass bei

dem sekundären Strome der erregende Strom nicht in sich zurückläuft, während Dies bei allen übrigen Nebenströmen der Fall ist, eine Annahme, die der Prüfung durch den Versuch bedarf. Ich breche hier ab, da die vorliegende Abhandlung nur den Zweck verfolgte, zur Erkennung der Nebenströme der leydener Batterie die wichtigsten Thatsachen anzugeben, die in jedem wohl eingerichteten physikalischen Kabinete mit geringem Zeitaufwande nachgewiesen werden können.

Ueber die Ladung des Condensators durch die Nebenströme der leydener Batterie.*

Es gewährt einen eigenen Reiz, die beiden Elektricitäten, welche in einem Nebendrathe der Batterie erregt werden und darin ihren blitzschnellen Lauf beginnen, zum Stehen zu bringen und sie, wenn auch nur zum geringsten Theile, in den Scheiben eines Condensators festzubannen. Ich bin auf den ersten gelungenen Versuch dieser Art später zurückgekommen, fand aber das Zeichen der Elektricität, welche von einem bestimmten Ende des Nebendrathes aufgefangen wurde, nicht mehr so constant wie früher, und suchte vergebens, durch eine in den Nebendrath eingeschaltete Weingeistflamme diese Constanz zu erreichen [1]). Als ich vor Kurzem die grosse Wirksamkeit des elektrischen Ventils erfahren hatte bei der magnetischen Ablenkung durch den Nebenstrom, gebrauchte ich den Apparat auch bei der Ladung des Condensators. Hätte er Das geleistet, was nach den magnetischen Versuchen zu erwarten war, so wäre Dies einer besonderen Mittheilung kaum werth gewesen. Der Apparat wirkte aber in anderer Weise, als sich vorhersehn liess, und so liefern die neuen Versuche nicht nur einen

* Monatsberichte d. Akad. 1865. 397.
1) Repertor. d. Phys. 1842. 235.

merkwürdigen Beitrag zur Kenntniss der Wirkungsweise des Ventils, sondern auch zu der der Nebenströme selbst.

Der Condensator.

Als bei meinen frühern Versuchen eine Spiegelplatte zur Trennung der Condensatorscheiben gebraucht wurde, habe ich auf die Täuschung aufmerksam gemacht, die dadurch entsteht, dass die Platte bei dem Versuche elektrisch, der Condensator in einen Elektrophor verwandelt wird. Ein Condensator kann aber in zwiefacher Weise zur elektrophorischen Wirkung gebracht werden, wonach eine und dieselbe Elektricitätsart Anzeigen derselben oder entgegengesetzter Art liefert. Ist die an die Collektorscheibe angebrachte Elektricität von geringer Dichtigkeit, so kann die isolirende Zwischenplatte durch Vertheilung elektrisch werden, und die Collektorscheibe gibt dann Elektricität desselben Zeichens mit der geprüften an. Hat hingegen die geprüfte Elektricität grössere Dichtigkeit, so geht sie auf die Zwischenplatte über und die Collektorscheibe erhält elektrophorisch die entgegengesetzte Elektricitätsart (a. a. O. Seite 234). Man kann sich von dieser Verwandlung des Condensators in einen Elektrophor leicht überzeugen. Zwei Metallscheiben von nahe 3 Zoll Durchmesser wurden durch eine gefirnisste 2⅛ Linie dicke Glasplatte von einander getrennt, die obere Scheibe isolirt, die untere vollkommen abgeleitet. Nachdem die obere Scheibe einige Funken positiver Elektricität erhalten hatte, konnte sie durch Verbindung mit der untern Scheibe nicht vollständig entladen werden, denn abgehoben gab sie einen Funken. Auf die Glasplatte gesetzt, ableitend berührt und abgehoben, zeigte sie sich stark negativ elektrisch und zwar konnte dieser Versuch oft wiederholt werden. Es war ein Elektrophor entstanden, der Elektricität lieferte von der der angewandten entgegengesetzten Art. Wurde hingegen die Collektorscheibe behutsam mit positiver Elektricität geladen, so konnte sie nach einer Minute gleichfalls nicht vollständig entladen werden durch Verbindung mit der untern Scheibe. Abge-

hoben, entladen, wieder aufgesetzt und ableitend berührt, war sie stark positiv elektrisch geworden und wurde es 12mal nacheinander. Es war also ein Elektrophor entstanden, der dieselbe Elektricitätsart lieferte, wie die an der Collektorscheibe einmal angebrachte. Dasselbe muss in einem vor Kurzem von Gaugain beschriebenen Versuche geschehn sein. Ein Condensator mit Zwischenplatte aus Schellack, war so gut isolirt, dass er seine Ladung 15 Minuten lang ungeschwächt behielt. Unmittelbar nach dem Elektrisiren entladen, behielt er keinen Rückstand in der Collektorscheibe, der $^3/_5$ der Ladung betrug, wenn die Entladung erst nach 15 Minuten geschah [1]). Es ist bekannt, dass in Isolatoren die Influenzelektricität zu voller Entwickelung einer geraumen Zeit bedarf; wäre in dem letzten Versuche die Collektorscheibe entladen wieder auf die Schellackplatte gesetzt, abgeleitet und abgehoben worden, so würde sie unzweifelhaft Elektricität gleicher Art mit der angewandten gezeigt haben.

Bei der Ladung des Condensators durch einen Nebenstrom der Batterie ist die Collektorscheibe nothwendig durch einen Luftraum von der Nebenschliessung getrennt; es geht ein Funke auf die Scheibe und häufig auch auf die isolirende Zwischenplatte, die dann lange Zeit elektrophorisch wirkt. Gewöhnlich ist schon die erste Ladung der Collektorscheibe eine elektrophorische und hat dasselbe Zeichen, wie die späteren, die durch Aufsetzen und Abheben der Collektorscheibe erhalten werden. Doch kann auch die erste Ladung eine condensatorische sein und hat dann das entgegengesetzte Zeichen. In einem Versuche, bei welchem die Condensatorscheiben durch eine Platte von Hartkautschuk getrennt waren und die Lücke der Nebenschliessung $^1/_{10}$ Linie betrug, wurde die Collektorscheibe durch den Nebenstrom negativ elektrisch; als sie aber entladen, wieder aufgesetzt und ableitend berührt war, wurde sie positiv, wie in allen spätern Versuchen, die bis eine Stunde nach der Entladung der Batterie fortgesetzt wurden. Es ist daher

1) Compt. rendus 59. 831.

eine Untersuchung nöthig zur Entscheidung, ob die von der Collektorscheibe gelieferte Elektricität gleichen oder entgegengesetzten Zeichens ist mit der, welche sie vom Nebenstrome erhalten hat. Diese Unsicherheit fällt fort bei dem Condensator, dessen Scheiben durch eine Luftschicht getrennt sind, den ich zu den folgenden Versuchen ausschliesslich benutzt habe.

Zwei 81,6 Linien breite Messingscheiben sind vertikal auf 8 Zoll langen Glasstäben befestigt und standen in der Entfernung von 5 Linien einander normal gegenüber. Der eine Glasstab steht auf einem Gelenke, die zugehörige Scheibe kann dadurch unter das Fussbrett heruntergeschlagen und so von der andern Scheibe hinlänglich weit entfernt werden. Die zweite Scheibe, Collektorscheibe, steht fest und war durch einen Drath mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel die zu prüfende Elektricität erhielt. Dieser Apparat gestattet zwar nicht eine so starke Ansammlung von Elektricität durch den Nebenstrom, wie der Condensator mit fester Zwischenplatte, die leicht bis zum Funkengeben geht, dafür ist aber das Zeichen der geprüften Elektricität keiner Zweideutigkeit ausgesetzt, und ohne weitere Untersuchung vollkommen sicher.

Ladung des Condensators durch den Nebenstrom einer Nebenschliessung.

In den kurzen gutleitenden Schliessungsbogen einer aus drei Flaschen bestehenden Batterie (jede von 2,6 Quadratfuss Belegung) war eine Drathrolle eingeschaltet von 32 Windungen (30 Fuss eines $^{17}/_{24}$ Linie dicken Kupferdrathes), und darüber waren 32 Fuss desselben Drathes in gleichem Sinne gewunden. Die Dräthe waren mit Guttapercha umpresst, die Spiralen daher durch eine $1\,^{1}/_{24}$ Linie dicke Guttaperchaschicht von einander getrennt. Es wird an der untern (Haupt-) Spirale dasjenige Ende das *innere* genannt, das der innern Belegung der Batterie zunächst lag, das andere Ende als *äusseres* bezeichnet. Die entsprechende Be-

zeichnung erhalten die Enden der obern (Neben-) Spirale, so dass also das *innere* Ende der Nebenspirale (-Rolle) über dem innern Ende der Hauptrolle liegt und ebenso das äussere. Wird die Nebenspirale, wie später geschieht, mit einer andern Spirale in Verbindung gesetzt, so werden die Bezeichnungen ihrer Enden auf die der neuen Spirale übertragen. Das mit dem innern Ende der Nebenspirale verbundene Ende der neuen Spirale heisst das innere, und eben so das entsprechende einer etwa vorhandenen Nebenspirale höherer Ordnung und so fort. Für alle an der Schliessung der Batterie vorhandenen Spiralen ist also die erste, in die Hauptschliessung eingeschaltete Spirale maassgebend; bei den übrigen Spiralen ist es gleichgültig, ob das innere Ende derselben der innern Belegung der Batterie zunächst liegt und das äussere der äussern. Diese Bezeichnung ist festzuhalten, da sonst einige der später anzuführenden Versuche einem Missverständnisse ausgesetzt wären.

Ein Ende der beschriebenen Nebenrolle wurde durch einen Drath mit der drehbaren Scheibe des Condensators verbunden, das andere Ende mit einem elektrischen Ventile (Fig. 5) und dies mit der einen (6,3 Linien dicken) Kugel eines Funkenmikrometers, dessen zweite Kugel mit der festen (Collektor-) Platte des Condensators in Verbindung stand. Im Ventile war die Messingscheibe 1 Linie von der Deckplatte entfernt. Die Stellung des Ventils wird durch den Theil desselben angegeben, der durch das Mikrometer mit der Collektorplatte verbunden ist. Die Spitze (oder Fläche) des Ventils sei mit dem Collektor verbunden, sagt, dass von der Platinspitze (oder dem Stiele der Messingscheibe) des Ventils ein 20 Zoll langer Drath zu der einen Kugel des Mikrometers geführt war, dessen zweite Kugel durch einen 40 Zoll langen Drath mit der Collektorscheibe verbunden ist; der nicht genannte Theil des Ventils war mit dem innern oder äussern Ende der Nebenrolle durch einen 20 Zoll langen Drath verbunden. Bei der Entladung der Batterie musste zwischen den Kugeln des Mikrometers ein Funken entstehen; blieb dieser aus, so wurde der Versuch nicht

mitgezählt. Nach dem Erscheinen des Funkens wurde die Condensatorscheibe heruntergeschlagen und die dadurch freie Collektorscheibe mit dem Ende eines Drathes berührt, der an einem Goldblatt-Elektroskope befestigt war, dessen Blätter etwa 10 Linien lang, 1 Linie breit waren. Auf die Bestimmung der Divergenz der Goldblätter wurde keine Sorgfalt gewendet, da die Grösse dieser Divergenz, bei demselben Versuche in hohem Grade wandelbar, nur im Durchschnitte zu beurtheilen nöthig erschien. Die Art der aufgesammelten Elektricität liess ein Säulenelektroskop, an das der Drath des Goldblattelektroskops angelegt wurde, leicht und sicher erkennen; sie wird in den Tafeln durch das den Divergenzen vorgesetzte Zeichen angegeben. In den folgenden Versuchen wurde die Batterie mit der positiven Elektricitätsmenge 6 geladen (Schlagweite der Maassflasche $^1/_2$ Linie), der Druck im Ventile betrug 1 Linie. In Reihe I waren die Kugeln des Funkenmikrometers $^1/_{10}$ Linie von einander entfernt, in Reihe II diese Kugeln durch zwei niedrige Kegel ersetzt, zwischen deren $^1/_{10}$ Linie von einander entfernten Spitzen der Funke des Nebenstroms erschien. Fig. 11 zeigt schematisch die Anordnung des Versuchs. Mit r ist die im Schliessungsbogen befindliche Hauptrolle bezeichnet, mit r' die darauf gewickelte Nebenrolle, mit v das elektrische Ventil, mit m das Funkenmikrometer. Am Condensator c ist die Scheibe links drehbar, die rechts (die Collektorscheibe) fest. Letzte ist mit der Fläche des Ventils verbunden und sammelt die Elektricität vom *innern* Ende der Nebenrolle, da die zur innern Belegung der Batterie führende Leitung rechts liegt.

Elektricität von der Nebenrolle, gesammelt

I.

am innern Ende.

Collektor verbunden mit	Spitze	Fläche des Ventils
Divergenz des Elektroskops.		
	— 50°	+ 48°
	— 45	+ 43
	— 64	+ 37, + 22

	am äussern Ende	
Collektor verbunden mit	Spitze	Fläche des Ventils
	Divergenz des Elektroskops	
	— 26°	+ 38°
	— 32	+ 33
	— 35	+ 34

II.

am innern Ende.	
— 30	+ 52
— 65	+ 58
— 52	+ 60
am äussern Ende.	
— 27	+ 43
— 28	+ 33
— 45	+ 30

Diese Beobachtungsreihen, die vollständig mitgetheilt sind bis auf 3 Fälle, in welchen am äussern Ende der Rolle der Funken im Mikrometer und damit die Ladung des Condensators ausblieb, lehren eine neue, merkwürdige Eigenschaft des Ventils kennen. Als in frühern Versuchen der Nebenstrom in der Leitung seinen Kreislauf vollenden konnte, liess das Ventil, wie die Ablenkung der Magnetnadel zeigte, den Theil des Stromes zu Stande kommen, der im Ventile von der Scheibe zur Spitze ging. Bei den hier aufgeführten Versuchen kann der Nebenstrom nicht in sich zurücklaufen, er stockt in den Platten des Condensators und durch Wirkung des Ventils wird diejenige Platte positiv elektrisch, welche durch die Leitungsdräthe und das Funkenmikrometer mit der Scheibe des Ventils in Verbindung steht; die mit der Spitze verbundene Platte wird negativ elektrisch. Daraus folgt die Regel:

Die Collektorplatte des Condensators wird vom Nebenstrome der Batterie im Sinne eines Stromes geladen, der im Ventile von der Spitze zur Fläche geht.

Das Ventil wirkt also in entgegengesetzter Weise auf den in einer Leitung durch den Condensator unterbroche-

nen, wie auf den darin vollständig circulirenden Nebenstrom; von dem letzten lässt es den Theil zu Stande kommen, der von der Scheibe zur Spitze, von dem ersten den, welcher von der *Spitze* zur *Scheibe* des Ventils geht. Es kann nicht auffallen, dass die Regel für den unterbrochenen Strom nicht unbedingte Geltung hat, wie die für den vollständigen. Mit Anwendung eines normalen Ventils habe ich eine regelwidrige Richtung der magnetischen Ablenkung durch den Nebenstrom niemals gesehn, eine regelwidrige Ladung des Condensators nicht selten. Zuweilen war nach dem Uebergange des Funkens im Mikrometer die Collektorplatte nicht elektrisch, zuweilen ihre Elektricitätsart der Regel widersprechend. Doch lassen sich diese Abweichungen seltener machen, wenn man eine gutleitende Schliessung und möglichst geringe Ladungen der Batterie gebraucht; deshalb ist in den mitgetheilten Versuchen die Lücke im Mikrometer sehr klein und die geringste Elektricitätsmenge genommen worden, mit welcher jene vom Nebenstrome durchbrochen wird. Hat man zugleich die Lücke nicht zwischen Kugeln, sondern zwischen Kegelspitzen gebildet, so werden die Ausnahmen von der regelrechten Ladung des Collektors fast ganz vermieden.

In eben der Weise, wie bei dem sekundären Strome wirkt das Ventil, wenn man einen Strom höherer Ordnung zur Ladung des Condensators benutzt. Ich übergehe die Versuche, die ich mit dem Strome dritter und vierter Ordnung angestellt habe, da sie völlig den angeführten entsprachen; von jedem Ende der letzten Spirale der Nebenschliessungen wurde der Collektor im Sinne eines Stromes geladen, der im Ventile von der Spitze zur Scheibe läuft.

Es ist erklärlich, dass die Divergenzen des Elektroskops bei gleichen Versuchen an Grösse noch viel verschiedener sind, als bei vollständiger Leitung die magnetischen Ablenkungen. Die Leitung, welche der Nebenstrom hier durchläuft, hat drei Unterbrechungen: eine dauernde, durch den Condensator gebildete, zwei zeitweilige, im Ventile und Mikrometer, die vom Strome durchbrochen werden. Durch die

letzten kann nicht nur Elektricität zur Collektorscheibe hin, sondern auch von ihr fortgeführt werden, wie die Fälle lehren, in welchen trotz des glänzenden Funkens im Mikrometer, die Collektorscheibe nicht elektrisch ist. Dass der Strom nicht stets an derselben Stelle des Mikrometers übergeht, lehrte der Anblick der Mikrometerkugeln, deren einander zugekehrte Kuppen einen grossen unregelmässigen Fleck zeigten, der bei der Behauchung nicht getrübt wurde. War deshalb auf die Grösse einer einzelnen Divergenz kein Gewicht zu legen, so konnte doch nicht unbemerkt bleiben, dass, im Ganzen genommen, die Divergenzen grösser waren, wenn die Collektorscheibe Elektricität vom *innern*, als wenn sie dieselbe vom *äussern* Ende der Nebenrolle erhielt. Ueberhaupt gelangen die Versuche am sichersten, der Funken im Mikrometer blieb nicht aus, wenn die Drathverbindung vom Ventile zu dem innern Ende der Nebenrolle geführt, von diesem Ende die Collektorplatte geladen wurde. Dies gilt für die sekundäre Nebenspirale, wie für eine Nebenspirale höherer Ordnung, bei welcher die Bezeichnung inneres Ende so zu verstehen ist, wie ich sie oben definirt habe.

Die Leichtigkeit, mit der ein Condensator vom innern Ende einer Nebenspirale geladen wird, führte zu dem Versuche, die Ladung allein von diesem Ende, ohne Zuziehung des äussern Endes zu erhalten, und Dies gelang vollständig bei allen versuchten Strömen (zweiter, dritter und vierter Ordnung). Ich will ausführlicher den Versuch mit dem tertiären Strome beschreiben. Im Schliessungsbogen der Batterie befand sich eine ebene Spirale von 53 Fuss Drathlänge, dieser gegenüber in 1 Linie Entfernung die gleiche Nebenspirale, deren Enden mit den Enden der oben gebrauchten Cylinderspirale von 30 Fuss Drath verbunden waren. An der über der letzten gewundenen Nebenspirale blieb das äussere Ende frei, von dem *innern* Ende, es war zufällig von dem Innern der Batterie das entferntere, wurde ein 20 Zoll langer Drath zum elektrischen Ventile, von diesem ein gleicher Drath zu der einen Kugel des Funken-

mikrometers geführt, dessen zweite $^1/_{10}$ Linie davon entfernte Kugel durch einen 40 Zoll langen Drath mit der Collektorscheibe des Condensators verbunden war. Die Condensatorscheibe, welche nach der Entladung des Stromes unter das Fussbrett heruntergeschlagen wurde, war isolirt und an die Mitte ihrer Rückseite ein starrer 11 Zoll langer in eine Kugel endigender Drath angesetzt. Die Batterie wurde mit der Menge 10 geladen, der Druck im Ventile betrug eine Linie.

III.

Collektorscheibe verbunden	
mit Spitze	Fläche des Ventils
Divergenz des Elektroskops.	
— 25°	+ 23
— 22	+ 10

Als das Ende der Leitung vom innern Ende der tertiären Nebenspirale gelöst und an ihr äusseres Ende geknüpft war, erschien in 6 Versuchen, bei welchen die Elektricitätsmengen 10, 15 und 20 gebraucht wurden, kein Funken im Mikrometer und keine Ladung der Collektorscheibe. Mit gleichem Erfolge wurde der Versuch am Strome vierter Ordnung ausgeführt; am sekundären Strome habe ich ihn öfter angestellt. Einmal, als dieser Strom in der Doppelrolle von 30 Fuss Drathlänge erregt wurde, gab das innere Ende der Nebenrolle die folgenden Ladungen der Collektorscheibe (im Mikrometer $^1/_{10}$ Lin. von einander entfernte Kegelspitzen, im Ventile 1 Lin. Druck, in der Batterie die Elektricitätsmenge 10).

IV.

Collektorscheibe verbunden	
mit Spitze	Fläche des Ventils
Divergenz des Elektroskops.	
— 20°	+ 18
— 8	+ 20
— 20	+ 20

Vom äussern Ende der Nebenrolle konnte mit derselben Ladung der Batterie kein Funken im Mikrometer erhalten werden, die Collektorscheibe blieb daher unelektrisch.

Diese Versuche sind aus der Natur des Nebenstromes allein nicht zu erklären. Wenn der Nebenstrom an einer Stelle seiner Leitung eine Schlagweite von $^1/_{10}$ Linie hat, so ist nicht einzusehen, weshalb er an einer 53 und 30 Fuss davon entfernten Stelle diese Schlagweite nicht erreichen sollte. Es ist aber früher gezeigt worden (Elektricitätslehre §. 832), dass mit dem Nebenstrome zugleich stets eine andere Elektricitätsbewegung eintritt, die Seitenentladung, und dass diese es ist, welche den Uebergang des Nebenstroms durch eine Luftschicht möglich macht. Die Schlagweite der Seitenentladung ist von der Stelle des Schliessungsbogens abhängig, an der sie eintritt; sie ist desto grösser, je näher diese Stelle dem Innern der Batterie liegt. Mit gleicher Eigenthümlichkeit tritt die Seitenentladung in der sekundären Schliessung und in den Schliessungen höherer Ordnung auf; aus frühern Versuchen (Elektricitätslehre §. 900 mit Figur 172) ist zu ersehen, dass z. B. an dem *innern* Ende einer tertiären Nebenspirale von 53 Fuss Drathlänge der tertiäre Strom eine Schlagweite von 1 Linie besass bei einer Ladung der Batterie, mit welcher am *äussern* Ende der Spirale noch nicht die Schlagweite von $^1/_{10}$ Linie erreicht war. Die obigen Versuche bilden zu jenen Versuchen Corollare, aber deshalb interessante, weil durch Wirkung des Ventils nicht nur der der Seitenentladung gleichgerichtete, sondern auch der ihr entgegengerichtete Nebenstrom erkennbar durch die Lücke des Mikrometers geht. Die Seitenentladung befördert den Uebergang jedes der beiden Ströme, weil ihr die Wirksamkeit zukommt, die Luft zu verdünnen, die in der Strombahn liegt.

In den Versuchsreihen I und II, bei welchen beide Enden der Nebenspirale mit den Condensatorscheiben in Verbindung standen, erschien, mit wenigen Ausnahmen, der Funken im Mikrometer bei gleicher Ladung der Batterie, die Collektorplatte mochte mit dem innern oder äussern Ende

der Nebenspirale verbunden sein. Im letzten Falle war es die mit dem innern Ende verbundene Condensatorscheibe, welche die ihr nahestehende Collektorscheibe befähigte, die Seitenentladung im Mikrometer zu Stande kommen zu lassen, in eben der Weise, wie die Hauptspirale Dies in der Nebenspirale thut. Es treten noch andere bemerkenswerthe Erscheinungen auf bei dem Zusammenwirken der Seitenentladung und des Nebenstroms, die ich hier übergehe, da sie mich zu weit führen, auch ohne Hülfe von Figuren viele Worte nöthig machen würden.

Ladung des Condensators durch den Nebenstrom der Hauptschliessung.

Dass die Versuche über die Ladung des Condensators auch mit dem Nebenstrome der Hauptschliessung der Batterie anzustellen seien, konnte nicht in Frage kommen, wol aber, ob diese bequemen Versuche ausgeführt und gehäuft werden sollten, wie es bei der magnetischen Ablenkung durch den Nebenstrom von mir geschehn ist. Die magnetische Ablenkung durch den Hauptstrom ist in auffallendster Weise verschieden von der durch den Nebenstrom bewirkten, die Seitenentladung bleibt mit ihrer geringen Elektricitätsmenge dabei ganz ausser Spiel, so dass jeder Versuch für sich auf das Deutlichste sprach und kein Wort darüber zu verlieren war, es sei der Nebenstrom der Grund des Erfolges. Bei der Ladung des Condensators ist es anders; sie geschieht durch den Hauptstrom nicht minder stark, wie durch den Nebenstrom, auch die Seitenentladung darf dabei nicht ausser Acht gelassen werden. Es ist daher bei jedem Versuche eine Betrachtung nöthig zur Sonderung der Ursachen, die den Erfolg bedingen. Dennoch halte ich es nicht für überflüssig, einige wenige Versuche dieser Art beizubringen, und zwar aus dem folgenden Grunde.

Die negativen Ladungen einer direct mit positiver Elektricität geladenen Batterie, die von Oettingen nachgewiesen hat[1]), haben Aufmerksamkeit erregt, weil man in ihnen

1) Poggendorff's Ann. 115. 513.

eine Stütze zu finden glaubte einer deductiv gewonnenen Hypothese über den Mechanismus der elektrischen Entladung. Ohne diese Rücksicht würden die negativen Ladungen aus lange vorliegenden Versuchen mit Leichtigkeit abgeleitet worden sein. Der Nebenstrom einer Nebenschliessung ladet einen Condensator, und zwar wurde in den ersten darüber angestellten Versuchen stets *negative* Elektricität von dem Ende der Nebenschliessung erhalten, das der mit positiver Elektricität geladenen *innern* Belegung der Batterie zunächst lag [1]). Später wurde nachgewiesen [2]), dass von jedem der beiden Enden der Nebenschliessung positive und negative Elektricität erhalten werden kann, je nach der Stärke der Ladung der Batterie und der Weite der Lücke, die der Nebenstrom zu durchbrechen hat. Wird nun, und ich glaube nicht, dass die Versuche über die magnetische Ablenkung darüber jetzt noch einen Zweifel lassen, in der Hauptschliessung der Batterie ein Nebenstrom erregt, so wird dieser der innern Belegung der entladenen Batterie, zu der er durch einen Luftraum übergeht, ebenso gut negative Elektricität zuführen können, wie in den erwähnten Versuchen der dem Innern nächsten Condensatorscheibe. von Oettingen änderte die Schlagweite der Batterie, also gleichzeitig die Ladung der Batterie und die Weite der Lücke, die der Nebenstrom zu durchbrechen hat, so dass die nach der Schlagweite veränderlichen Ladungen nicht auffallen können. In einem Schliessungsbogen von gebräuchlicher Länge und Einrichtung ist der Nebenstrom viel zu schwach, um das Innere der Batterie negativ zu laden, das stets einen Theil der directen positiven Ladung zurückbehält, aber man kann den Strom bekanntlich verstärken durch Verlängerung des Bogens und seine Spiralform. von Oettingen erhielt nur einigermaassen erhebliche negative Ladungen der Batterie, nachdem er in den Schliessungsbogen eine Rolle von ganz ungewöhnlicher Drathlänge (nach der Angabe über acht deutsche Meilen) eingeschaltet hatte. Der

1) Poggendorff's Ann. 51. 357.
2) Repert. d. Phys. 1842 S. 233.

in einer solchen Rolle erregte Nebenstrom würde auch für viel stärkere Ladungen der Batterie mit negativer Elektricität, als beobachtet wurden, einen genügenden Grund abgeben.

Diese natürlichste, weil inductiv gefundene Erklärung der negativen Rückstände wird durch experimentell einfache Versuche unterstützt. Eine Rolle von 30 Fuss Drathlänge wurde in den kurzen gutleitenden Schliessungsbogen einer Batterie von drei Flaschen eingeschaltet, von jedem ihrer Enden ein Drath zu je einer Scheibe des Condensators geführt. Der zur Collektorscheibe führende Drath war durch das Funkenmikrometer unterbrochen, an dem die Kegelspitzen $^1/_{10}$ Linie von einander entfernt waren. Nach der Entladung der Batterie durch den Fallapparat wurde die Condensatorscheibe heruntergeschlagen, die Collektorscheibe am Goldblattelektroskope geprüft. Nach Ladung der Batterie mit der positiven Elektricitätsmenge 6, erhielt ich, als die Collektorscheibe mit dem innern Ende der Rolle verbunden war,

die Divergenzen	— 22°	+ 40	— 40
vom äussern Ende der Rolle	— 32	+ 22	— 23

Die Divergenz mit positiver Elektricität der ersten Zeile und die beiden Divergenzen mit negativer Elektricität der zweiten brauchen nicht vom Nebenstrome der Rolle herzurühren, sie können durch den Hauptstrom und die Seitenentladung allein erklärt werden. Bei den negativen Divergenzen der zweiten Zeile wäre anzunehmen, dass die Condensatorscheibe direct geladen würde und diese die Collektorscheibe durch Influenz lüde. Die übrigen drei Divergenzen können nur von dem in der Rolle erregten Nebenstrome herrühren.

Es wurde der Drath zwischen Rolle und Condensatorscheibe entfernt und die Condensation durch die isolirte mit Drathfortsatz versehene Scheibe vollführt. Als die Collek-

torscheibe mit dem innern Ende der Rolle verbunden war, lieferte die frühere Ladung der Batterie

die Divergenzen $+20^{\circ}$ -17 -10 -8

Die erste Divergenz ist der Seitenentladung, die übrigen sind dem mit dem Hauptstrome gleichlaufenden Nebenstrome der Rolle zuzuschreiben. Nach der Verbindung mit dem äussern Ende der Rolle erschien kein Funken im Mikrometer, keine Ladung des Condensators in drei Versuchen, bei welchen die Batterie mit den Elektricitätsmengen 6, 10 und 15 geladen war. Es ist hier noch deutlicher als früher, dass die Seitenentladung, obgleich mit positiver Elektricität zur Collektorscheibe übergehend, den Uebergang der negativen Elektricität des Nebenstroms erleichtert.

Diese sehr verwickelten Versuche sind noch unsicherer als die ähnlichen mit dem Nebenstrome einer Nebenschliessung angestellten, und man erhält, ohne den Grund davon zu finden, bald Versuche, die deutlicher, bald solche, die undeutlicher, als die angeführten, den Nebenstrom verrathen. Sichere, mit einiger Vorsicht zu jeder Zeit dasselbe Ergebniss liefernde Versuche werden durch das Mittel erhalten, das so gute Dienste in der Nebenschliessung geleistet hat, durch das elektrische Ventil.

Die Rolle im Schliessungsbogen wurde wieder an beiden Enden mit dem Condensator in Verbindung gesetzt, aber in den Drath zwischen Rolle und Funkenmikrometer ein elektrisches Ventil mit 1 Linie Luftdruck eingeschaltet. Dieser Drath war zuerst am innern, dann am äussern Ende der Rolle befestigt. Es war also die in Fig. 11 dargestellte Anordnung des Apparats mit der Aenderung, dass die Leitung zum Condensator von der Nebenrolle r' gelöst, und an den Enden der Hauptrolle r befestigt wurde. Die Enden der Nebenrolle blieben frei. Die Batterie wurde mit der positiven Elektricitätsmenge 6 geladen.

V.

Elektricität von der Hauptrolle, gesammelt am innern Ende

Collektor verbunden mit	Spitze	Fläche des Ventils
	Divergenz des Elektroskops.	
	— 33°	+ 58
	— 53	+ 70
	— 43	+ 70
	am äussern Ende.	
	— 60	+ 48
	— 60	+ 63
	— 63	+ 70

Es ist zu bemerken, dass die drei mit 70 bezeichneten Divergenzen grösser waren, aber an der nur bis dahin sichtbaren Theilung nicht bestimmt werden konnten, und dass zwei Fälle vorkamen, am äussern Rollenende, wo weder Funken noch Ladung des Condensators bemerkt wurde. Die Zeichen der aufgefangenen Elektricität entsprechen durchaus der Regel des Nebenstroms, aber dadurch ist eine Mitwirkung des Hauptstroms und der Seitenentladung bei der Ladung der Collektorplatte nicht ausgeschlossen. Die ungewöhnlich grossen Divergenzen mit positiver und die kleinen mit negativer Elektricität können dieser Mitwirkung zugeschrieben werden. Als die Condensatorscheibe ausser Verbindung mit der Rolle gesetzt und isolirt war, gab das innere Ende der Rolle bei Ladung der Batterie mit der Elektricitätsmenge 6 folgende Divergenzen:

VI.

Collektor verbunden mit	Spitze	Fläche des Ventils
	— 23°	+ 58
	— 30	+ 37
	— 25	+ 25

Von dem äussern Ende der Rolle konnte in 4 Versuchen, bei welchen die Batterie mit der Menge 10 geladen war, keine Divergenz erhalten werden.

Diese Versuche, die ich mit gleichem Erfolge hinsichts der Zeichen der angesammelten Elektricität oft wiederholt habe, sind nur Corollare zu Versuchen des vorigen Abschnitts. Reihe V stimmt mit I und II, Reihe VI mit IV vollständig überein. In den frühern Versuchen I, II und IV wurde die Elektricität an einer Drathrolle gesammelt, die über der hier gebrauchten Hauptrolle lag, von dieser durch eine dicke Guttaperchaschicht getrennt war, und die Ansammlung konnte einzig und allein einer Elektricitätsbewegung zugeschrieben werden, die *Nebenstrom* genannt wird. Die jener gleiche und durch das Ventil in gleicher Weise geregelte Elektricitätsansammlung in den Versuchen V und VI einer andern Elektricitätsbewegung zuschreiben zu wollen, scheint mir weder geboten, noch gerechtfertigt. Ich brauche wol kaum zu bemerken, dass der in einer Rolle von nur 30 Fuss Drathlänge erregte Nebenstrom in den Condensator und nicht in die Batterie ging, weil er von der letzten im Augenblicke seines Entstehens durch einen viel zu breiten Luftraum getrennt war.

Zur Kenntniss des Nebenstroms der Batterie.*

In den beiden vorangehenden Abhandlungen habe ich eine Reihe von Versuchen an den Nebenströmen der Batterie beschrieben, die mit Hülfe des elektrischen Ventils ausgeführt wurden, und grösstentheils zu den sichersten Versuchen der Elektricitätslehre gehören. Diese Versuche, mag man nun dem Nebenstrome ein grösseres oder geringeres Interesse abgewinnen, dürfen nicht unbeachtet bleiben, wenn der Vorgang im Hauptstrome der Batterie richtig erkannt werden soll. Um diese Beachtung nicht zu hindern, wurden nur solche Wirkungen des Nebenstroms aufgeführt, auf die das Ventil den entschiedensten, nie fehlen-

---

* Monatsberichte d. Akad. d. Wiss. 1866. 117.

den Einfluss ausübt, und solche Wirkungen übergangen, die der Apparat wenig oder gar nicht zu ändern vermag. In der That hatte sich mir die Wirkungslosigkeit des Ventils erst in einer spätern Zeit der Untersuchung ergeben, und zwar glücklicherweise, da sie anfangs gesehn, von der Anwendung des Apparats bei dem Nebenstrome gänzlich abgeschreckt hätte. Jetzt aber darf die Mittheilung jener erfolglosen Versuche nicht verschoben werden; sie sind im Stande, eine Vorstellung über die Beschaffenheit des Nebenstroms zweifelhaft zu machen, welche die Wirkung des Ventils nothwendig hervorrufen musste, und es tritt die Forderung auf, diese Zweifel zu beseitigen. So scheint es mir, dass gerade diese erfolglosen Versuche höchst beachtenswerth sind, und sie bilden die Räthsel, die ich bei Einführung des Ventils angekündigt habe.

Aber auch von einem andern, allgemeinern Gesichtspunkte aus dürften jene Versuche lehrreich sein. Die Vorstellung über die Beschaffenheit des Nebenstroms der leydener Batterie ist durch Analogie gewonnen worden, indem man von den Strömen ausging, die durch Magneto-Induction bei abwechselndem Schliessen und Oeffnen eines voltaischen Elements erregt werden. Hier kann die Zeit zwischen zwei Strömen entgegengesetzter Richtung beliebig bestimmt werden, und man wurde darauf geführt, den Nebenstrom der Batterie aus solchen Strömen zusammengesetzt zu denken, die unmessbar schnell einander folgen. Soweit kann der Schluss als unerschüttert gelten. Wollte man aber die längere und kürzere Zwischenzeit zwischen zwei Strömen als unwesentlich betrachten und die an den Strömen der einen Art gewonnenen Erfahrungen bei denen der andern Art wiederzufinden erwarten, so würde Dies zu grossen Täuschungen führen. Die Analogie darf festgehalten, aber nicht dazu benutzt werden, die experimentelle Untersuchung zu umgehen.

Die Erfahrung hat jetzt gelehrt, dass der Nebenstrom der Batterie auf das Schlagendste verschieden ist von dem Strome des Inductorium, dass der letzte als die willkürliche

Aufeinanderfolge von Strömen entgegengesetzter Richtung anzusehen ist, während der Nebenstrom einen vollständigen Strom eigener Art bildet. Dass demselben eine in jedem Falle bestimmte Richtung zukomme, habe ich schon früher überall angenommen und will hierüber an Folgendes erinnern. — Bei einem einfachen Strome bezeichnet die Richtung das Fortschreiten der positiven Elektricität von einem Ende des Stromleiters zum andern und kann daher direct nur bestimmt werden, wenn ein dauernd elektrisirter Körper entladen, oder ein Körper durch die Entladung dauernd elektrisirt wird. Indirect wird die Richtung bestimmt durch eine von den vielen Wirkungen des Stromes, die nach seiner Richtung verschieden ausfallen, und keine davon hat sich zuverlässiger gezeigt, als die magnetische Ablenkung. Die Seite, nach der eine in bestimmte Lage zum Stromleiter gebrachte Magnetnadel abgelenkt wird, gibt die absolute Richtung des Stromes mit Sicherheit zu erkennen. Die relative Richtung zweier Ströme wird durch die Erfahrung gefunden, dass Ströme derselben Ordnung, die in einem Drathe zusammenkommen, darin mit ihrer Summe wirken, wenn sie einander gleichgerichtet, und mit ihrer Differenz, wenn sie entgegengerichtet sind. In dem vollständigen Nebenstrome geschieht die Fortschreitung der positiven Elektricität in einander folgenden Zeitmomenten nach verschiedenen Seiten, es wird durch ihn weder die Magnetnadel abgelenkt, noch von einem Ende seiner Schliessung ein Körper mit bestimmter Elektricitätsart geladen. Die bestimmte Richtung des Nebenstroms kann sich nur bei der Prüfung seiner relativen Richtung ergeben. Zwei unter gleichen Bedingungen erregte Nebenströme, die in einem Drathe zusammentreten, bringen darin eine starke oder gar keine Wirkung hervor, je nach der gleichartigen oder ungleichartigen Verbindung jenes Drathes mit den Nebenspiralen; jeder Nebenstrom ändert die Wirkung des ihn erregenden Hauptstromes in entgegengesetzter Weise je nach der Seite, von welcher er in seine Leitung eintritt. Die zweite Erfahrung ist als ein specieller Fall der ersten nach-

gewiesen worden[1]). Welche Richtung in Bezug auf die des Hauptstroms dem Nebenstrome beizulegen sei, ist hierdurch nicht bestimmt und kann nur aus dem Zusammenhalten verschiedenartiger Erscheinungen, mit grösserer oder geringerer Wahrscheinlichkeit geschlossen werden.

Zersetzung des Jodkalium, Durchbohrung von Papier und Bildung von Staubfiguren durch den Nebenstrom.

An dem Magneto-Inductionsapparate ist auch bei schnellstem Spiele des Unterbrechers die Zersetzung der Jodkaliumlösung auf Fliesspapier leicht und reichlich zu erhalten. Es wird unter beiden mit dem Apparate verbundenen Platinspitzen Jod ausgeschieden, weil jede Spitze abwechselnd positive Elektrode eines Inductionsstromes wird. Der volle Nebenstrom der leydener Batterie gibt keine Spur von elektrischer Zersetzung, muthmaasslich weil die Zeit, welche zwei entgegengerichtete Ströme trennt, gegen die am Inductorium verfliessende noch ausserordentlich klein ist, zu klein, um das Ausscheiden des Jod möglich zu machen. Da aber das elektrische Ventil, wie die magnetische Ablenkung zeigt, von den beiden Strömen nur Einen beliebig zu wählenden, zur Wirkung bringt, so war das Gelingen der Elektrolyse durch diesen Apparat zu erwarten.

Der Nebenstrom wurde in einer ebenen Nebenspirale von 53 Fuss Drathlänge erregt, von deren Enden Dräthe zu den 20 Linien von einander entfernten Platinspitzen des Zersetzungsapparates führten. Die Spitzen waren auf Fliesspapier gesetzt, das mit einer concentrirten Lösung von Jodkalium getränkt war. Die Elektricitätsmenge 15 (Schlagweite der Maassflasche $1/2$ Linie) wurde aus drei Flaschen durch die Hauptspirale entladen. War das Papier nass, so ging der Nebenstrom ohne Lichterscheinung hindurch, aber auch ohne Spur von Zersetzung. Auf dem feuchten Papiere erschien bei dem Durchgange des Stromes unter jeder Platinspitze ein sternförmiger, vielfach verästelter Funken und

1) Monatsberichte 1862. 359. Oben S. 304.

unter diesem zuweilen Ausscheidung von Jod in schlecht begränzten, verwaschenen Flecken, also nicht von elektrischer Zersetzung herrührend. Es wurde in einen der Dräthe zwischen der Nebenspirale und dem Zersetzungsapparate ein elektrisches Ventil eingeschaltet von der Einrichtung wie bei den Versuchen über magnetische Ablenkung, Luftdruck darin 1 bis 2 Linien. Auch jetzt fehlte die Zersetzung auf dem nassen Papiere; war es trockener, so erschien der Büschelfunken unter beiden Spitzen und bei ziemlicher Trockenheit des Papiers wurde häufig ein scharfer Jodpunkt wie von elektrischer Zersetzung bemerkt. Zuweilen entstand dieser Jodpunkt unter beiden Spitzen, gewöhnlich nur unter Einer, am häufigsten unter der Spitze, die mit dem *innern* Ende der Nebenspirale verbunden war. Das Sichere bei diesen unsichern Versuchen blieb, dass wenn der Jodpunkt unter einer bestimmten Spitze erschienen war, die Wiederholung des Versuchs mit umgestelltem Ventile ganz Dasselbe gab. Die Stellung des Ventils hatte keinen Einfluss auf die Zersetzung. Auffallend war noch die geringe Färbung des Jodpunkts, die stets schwächer blieb als bei Zersetzung durch den Hauptstrom, wenn die Batterie mit der Elektricitätsmenge 1 geladen war. Der Nebenstrom war in einer langen Spirale erregt und die Batterie mit der Menge 15 geladen; der Strom musste also stark und es konnte von ihm nur ein kleiner Theil durch das Ventil und Papier gegangen sein. Als bei sehr nassem Papiere das Spiegelgalvanometer in die Nebenschliessung genommen war, betrug die Ablenkung des Spiegels in der That nur einen Scalentheil, natürlich je nach der Stellung des Ventils nach der einen oder andern Seite. Bei Fortlassung des Papiers und metallischer Ausfüllung der Lücke erfolgte bei Ladung der Batterie mit der Menge 6 eine Ablenkung, je nach der Stellung des Ventils von + 99 und — 100 Scalentheilen. Keine besseren Erfolge von Zersetzung wurden erhalten, als die Scheibe im Ventile durch eine Kugel ersetzt wurde, die 15 Linien von der Deckplatte entfernt war. Die Wirkungslosigkeit des Ventils und der Umstand, dass ohne Funken

auf dem Papiere keine (scheinbar) elektrische Zersetzung zu erhalten war, veranlasste mich, die Versuche abzubrechen.

Die Durchbohrung eines Papiers, das in eine Lücke des Schliessungsdrathes eingeklemmt ist, gibt ein sicheres Zeichen der Richtung des Stromes bei der Batterie, der Elektrisirmaschine, dem Elektrophore, dem Inductorium. Das Loch findet sich stets in der Nähe der negativen Elektrode. Als dies Prüfungsmittel bei den Schliessungen der Nebenströme verschiedener Ordnung der leydener Batterie angewendet wurde, gab es stets die Richtung von dem innern Ende der Nebenspirale durch den Schliessungsdrath zu dem äussern Ende, und es wurde daraus geschlossen, dass nicht von dem Nebenstrome, sondern von der ihm vorangehenden Seitenentladung die Stelle der Durchbohrung bestimmt werde (Elektricitätslehre §. 902). Es wurde jetzt der Versuch an dem sekundären Strome wiederholt, in dessen Schliessung ein normales Ventil eingeschaltet war. Die lange ebene Spirale lieferte den Nebenstrom bei Entladung der mit der positiven Elektricitätsmenge 15 geladenen Batterie. Die Enden der Spirale waren mit zwei spitz zugeschnittenen Platinblechen verbunden, zwischen welche ein Streifen starken Velinpapiers geklemmt und nach jedem Versuche verschoben wurde. Die Spitzen berührten die entgegengesetzten Flächen des Papiers und standen $2^1/_4$ Linien von einander. Bei der Entladung der Batterie ging ein glänzender schmetternder Funken über das Papier und durchbohrte es in der Nähe einer bestimmten Spitze. Der Versuch war sehr sicher; zwar war das Loch mehr oder weniger durchsichtlich, aber sein auf beiden Flächen wulstiger Rand fehlte niemals, so dass eine Reihe von Versuchen später leicht zu controliren war. Mochte nun die Verbindung der Spitzen mit den Enden der Nebenspirale die eine oder andere sein, mochte das Ventil in den einen oder andern Verbindungsdrath eingeschaltet und seine Stellung eine beliebige sein, stets wurde das Papier an der Spitze durchbohrt, die mit dem *äussern* Ende der Nebenspirale entweder metallisch oder durch das Ventil in Verbindung stand. Dass

die Richtung des Nebenstroms je nach der Stellung des Ventils eine verschiedene war, konnte nicht bezweifelt werden, wurde indess noch in einigen Versuchen direct beobachtet. Hierzu wurde das Spiegelgalvanometer mit in die Nebenschliessung genommen und zwar in den ersten Versuchen so, dass ein dem Hauptstrome gleichlaufender Nebenstrom positive Ablenkungen gab (nach steigenden Zahlen der Galvanometerscale) und die obere Platinspitze auf dem Papiere mit dem äussern Ende der Nebenspirale verbunden war. Die untere Spitze stand mit dem Ventile und dies mit dem innern Ende der Nebenspirale in Verbindung. In den spätern Versuchen wurden die Verbindungsdräthe an der Nebenspirale versetzt, so dass nun der gleichlaufende Nebenstrom negative Ablenkungen hervorbrachte, und die untere Platinspitze durch das Ventil mit dem äussern Ende der Nebenspirale verbunden war. Die Batterie wurde mit der Menge 15 positiver Elektricität geladen.

		Ablenkung	Durchbohrung an der
Ventil in	Flächenstellung	+ 105 Scth.	oberen Spitze
	Spitzenstellung	— 35	oberen
	Verbindnngsdräthe versetzt		
	Flächenstellung	— 81	unteren
	Spitzenstellung	+ 40	unteren

Die Durchbohrung des Papiers erfolgte also stets an der mit dem *äussern* Ende der Nebenspirale verbundenen Spitze. Die verschiedene Grösse der Ablenkung bei gleicher Batterieladung ist durch die Verschiedenheit des in das Papier geschlagenen Loches erklärlich und nebenbei ist die Kleinheit der Ablenkungen anzumerken. Die grösste hier beobachtete Ablenkung erreicht nur die, welche oben ohne Einschaltung des Papiers bei Ladung der Batterie mit der Elektricitätsmenge 6 erhalten wurde. Es kann also von dem durch die Menge 15 erregten Nebenstrome nur ein kleiner Theil durch das Galvanometer geflossen sein.

Alle angestellten Versuche haben, wie die mitgetheilten, gezeigt, dass die Stellung des Ventils und die davon

abhängige Richtung des Nebenstroms ohne Einfluss bleibt auf die Stelle, an der ein eingeschaltetes Papier durchbohrt wird. Ueberall entsprach diese Stelle der am *innern* Ende der Nebenspirale erregten Seitenentladung, gegen die begreiflich die am äussern Ende (im Schliessungsbogen 53 Fuss weiter vom Innern der Batterie entfernt) auftretende Seitenentladung nicht in Betracht kam. Die Batterie war in den bisherigen Versuchen mit positiver Elektricität geladen, die Seitenentladung führte also positive Elektricität durch die mit dem innern Ende der Nebenspirale verbundene Spitze auf das Papier und die Durchbohrung fand an der andern Spitze regelrecht statt.

Bei Ladung der Batterie mit negativer Elektricität muss die Durchbohrung des Papiers an der mit dem innern Ende der Nebenspirale verbundenen Platinspitze eintreten. Von den 10 Versuchen, bei welchen die Batterie mit der negativen Elektricitätsmenge 15 geladen und die Verbindungsdräthe wie das Ventil in verschiedene Lagen gebracht waren, theile ich die Versuche mit, bei welchen das Spiegelgalvanometer mit in die Schliessung genommen war. Die Stellung des Ventils wird, wie früher, auf den dem Hauptstrome gleichlaufenden Nebenstrom bezogen.

	Ablenkung	Durchbohrung an der
Ventil in Flächenstellung	+ 84 Scth.	unteren Spitze
Spitzenstellung	— 15	unteren
Verbindungsdräthe versetzt		
Flächenstellung	— 65	oberen
Spitzenstellung	+ 19	oberen

In diesen Versuchen wurde, gleichgültig, welche Richtung dem Nebenstrome gegeben war, das Papier an der Spitze durchbohrt, die mit dem *innern* Ende der Nebenspirale in Verbindung stand.

In frühern Versuchen habe ich bereits nachgewiesen, dass der Nebenstrom durch eine Lücke erst nach dem Vorangehen der Seitenentladung übergeht und seine Wirkung an einer Stelle äussert, die durch die Richtung der Seitenent-

ladung bestimmt wird [1]). Damals war aber vom Gesammtnebenstrome die Rede und es war anzunehmen, dass die Seitenentladung den ihr gleichlaufenden Theil des Nebenstroms zur Wirkung bringt. Die hier beigebrachten Versuche zeigen, dass die Seitenentladung auch den ihr entgegenlaufenden Theil des Nebenstroms an der Stelle wirken lässt, die ihre eigene Richtung bestimmt. Die bei der hier gebrauchten Batterieladung entstehende Seitenentladung ist viel zu schwach, um ein Papier zu verletzen oder eine merkliche Erwärmung der Nebenschliessung hervorzubringen, was der Nebenstrom in hohem Grade leistet. Die vollständige Beherrschung des Nebenstroms durch die Seitenentladung scheint mir sehr merkwürdig und eine innigere Verknüpfung Beider anzudeuten, als wir bisher anzunehmen berechtigt waren. —

Staubfiguren bildet man durch den Nebenstrom in der Weise, dass die Schliessung der Nebenspirale an einer Stelle durchschnitten und zwischen die so gebildeten Drathenden eine Pechplatte gesetzt wird. Nach Entladung der Batterie bestäubt man die Platte mit einem Gemenge von Schwefelblumen und Mennige und erhält auf ihren beiden Flächen Figuren vom verschiedensten Aussehn. Die Begränzung der Figur der einen Fläche bildet ein sehr zierlicher gelber Strahlenkranz, die der andern ein scharfer rother Ring. Die Hoffnung, durch diese auffallenden Kennzeichen die Richtung des Nebenstroms zu bestimmen, ging nicht in Erfüllung. Es wurde gefunden, dass von jedem Ende der Nebenspirale bei gleichen Versuchen bald die eine, bald die andere Elektricitätsart aufgesammelt wurde, aber jedes Ende nur eine bestimmte Figur lieferte, nicht die andere. Um an demselben Ende eine andere Figur, als früher, zu erhalten, musste die Elektricitätsart gewechselt werden, mit der die Batterie geladen war. Es wurde geschlossen, dass es die Seitenentladung war, welche die Abformung der Figuren an jedem Ende der Nebenspirale bestimmte [2]).

1) Monatsberichte 1851. 300. Elektricitätslehre 2. 351.
2) Elektricitätslehre 2. 349.

Durch die Stellung des Ventils lässt sich die Elektricitätsart bestimmen, die ein Ende der Nebenspirale abgibt, und die Collektorplatte des Condensators wird beliebig mit der einen oder andern Elektricitätsart geladen (S. 365). Es war demnach ein Einfluss des Ventils auf die Abformung der Staubfiguren denkbar. — Der Nebenstrom wurde durch die oben gebrauchten ebenen Spiralen erregt, von dem innern Ende der Nebenspirale ein Drath zu der Scheibe eines normalen Ventils geführt, von dessen Spitze ein Drath ausging, der auf der Fläche einer Pechplatte endigte. Auf der hintern Fläche der Platte stand das Ende eines Drathes, der zu dem äussern Ende der Nebenspirale führte. Die Batterie war mit der positiven Elektricitätsmenge 10 geladen. Die vordere Pechfläche erhielt, nach den Versuchen am Condensator zu schliessen, negative Elektricität vom Nebenstrome; es entstand auf ihr eine vollkommene Figur mit dem Strahlenkranze, auf der hintern Fläche die Figur mit dem rothen Ringe, ganz so, wie sie der Nebenstrom ohne Anwendung des Ventils gegeben hatte. Genau dieselben Figuren wurden an denselben Stellen gebildet, als das Ventil umgekehrt, die Vorderfläche der Pechplatte demnach mit positiver Elektricität versehen wurde. Wie auch die Dräthe an der Nebenspirale befestigt sein mochten, in welchen von ihnen das Ventil eingeschaltet und wie es gestellt war, überall und ohne Ausnahme bildete das innere Ende der Nebenspirale die Figur mit dem Strahlenkranze, das äussere Ende die mit dem Ringe. Nur wenn die Batterie mit negativer Elektricität geladen war, erschien die Figur mit dem Ringe am innern Ende der Nebenspirale, die mit dem Strahlenkranze am äussern. Die Anordnung des Versuchs war noch darin von dem am Condensator verschieden, dass keine andere Unterbrechung als die durch das Ventil gebildete von dem Strome durchbrochen wurde. Es wurde nun zwischen Ventil und Pechplatte eine Unterbrechung in freier Luft zwischen zwei 0,1 Linie von einander entfernten Kegelspitzen, also ganz die Anordnung hergestellt, die bei den Condensatorversuchen gebraucht worden war. Zwischen den Kegelspitzen

erschien bei der Entladung der Batterie ein lichtschwacher Funken. Die Form der Figuren blieb auch hier unabhängig von der Stellung des Ventils. Nur waren, wenn durch die Stellung des Ventils die positive Elektricität des Nebenstroms auf die hintere Pechfläche geführt wurde, auf dieser einige gelbe Strahlen sichtbar, ausserhalb oder innerhalb des rothen Ringes.

Es konnte früher nur indirect, durch einen Schluss aus einem hypothetischen Satze gefunden werden, dass Staubfiguren in der unterbrochenen Nebenschliessung ihre Abformung allein der Seitenentladung verdanken. Dies wird direct bewiesen durch die hier aufgeführten Versuche, die ausserdem mit den Condensatorversuchen nicht im Widerspruche stehen. Denn wenn auch bei diesen die Seitenentladung unzweifelhaft in die Condensatorscheiben ging, so konnte sie nicht das Zeichen der aufgefangenen Elektricität bestimmen, da der Nebenstrom unvergleichlich stärker war, als die Seitenentladung. Der Nebenstrom wird bei gleicher Batterie im unterbrochenen Bogen verstärkt mit zunehmender Grösse der zur Unterbrechung benutzten Condensatorflächen [1]). Er war also bei Einschaltung der Condensatorscheiben weit stärker als bei der Bildung der Staubfiguren, wo nur zwei Dräthspitzen die Unterbrechung begrenzten, während die Seitenentladung in beiden Fällen gleich stark war.

Erwärmung durch den Nebenstrom.

Die Erwärmung des Schliessdraths durch einen Nebenstrom, der durch ein Ventil gegangen ist, ist sehr auffallend und wird es noch mehr, wenn man sie mit der Erwärmung vergleicht, die der Magneto-Inductionsstrom hervorbringt. Ich will deshalb Versuche mit dem letzten voranschicken.

Die Inductionsrolle meines 1855 in der Werkstatt von Siemens und Halske gefertigten Inductorium besteht nach der Angabe aus 14000 Fuss eines 0,25 Mm. dicken Kupferdraths, der in fünf von einander getrennten Abtheilungen

1) Monatsberichte 1853. 622. Oben S. 243.

gewunden ist. Die mittelste Abtheilung ist grösser als die übrigen und enthält eine bedeutend grössere Drathmasse. Es ist mir nur die Zahl der Windungen angegeben worden, die sich für die fünf Abtheilungen der Reihe nach so stellt: 3467, 4839, 6815, 5358, 3419. Die Hauptrolle enthält in zwei Lagen 155 Fuss eines 1,4 Mm. dicken Kupferdraths (478 Windungen). Der aus Eisendräthen bestehende Kern ist 15½ Zoll lang und wiegt 2⅛ Pfund. Der Unterbrecher ist nach Halske's Angabe. Waren, wie es allgemein bei den Inductorien geschieht, die Dräthe der Abtheilungen der Inductionsrolle hinter einander verbunden, so blieb die Erwärmung der Schliessung, selbst am empfindlichsten Luftthermometer geprüft, nur gering. Ich verband daher die Abtheilungen neben einander, die fünf Anfänge der Dräthe unter sich und ebenso die fünf Endigungen, und erhielt, bei Anwendung Eines kleinen Grove'schen Elements, die folgenden Erwärmungen des in die Schliessung der mit einander verbundenen Dräthe eingeschalteten Luftthermometers. Der Stand der Flüssigkeit darin wurde erst nach einigen Sekunden abgelesen, wenn er merklich constant geworden war. Das Ventil war von normaler Einrichtung, der Luftdruck darin 1 Linie, seine Stellung wird auf den Oeffnungsstrom bezogen.

Erwärmung durch Magneto-Inductionsströme

ohne Ventil	mit demselben in	
	Flächenstellung	Spitzenstellung
45 Linien	11,5	1
43	10	1
43,5	12	1

Die Einschaltung des Ventils in die Schliessung der Inductionsrolle vermindert die Erwärmung in hohem Grade; dass dieselbe bei Flächenstellung des Ventils grösser ist als bei Spitzenstellung, hatte sich bereits früher gezeigt (S. 148), aber, des unvollkommenern Apparats wegen, nicht in so schlagender Weise, wie hier. Die Abnahme der Erwärmung durch Einschaltung des Ventils ist leicht erklärlich. Durch

den ganz metallischen Schliessdrath gingen in rascher Folge Inductionsströme, das Ventil hielt davon eine grosse Anzahl zurück, so dass die durchgehenden Ströme einander sparsamer folgten. Um so mehr war eine Verminderung der Erwärmung durch das Ventil bei dem Nebenstrome der leydener Batterie zu erwarten, bei welchem eine bestimmte Anzahl von Inductionsströmen erregt wird.

Der Nebenstrom wurde, wie oben, mit Hülfe von zwei ebenen Spiralen erregt, die jede 53 Fuss Drath enthielten und 1 Linie von einander entfernt standen. Zur Ladung der aus drei Flaschen bestehenden Batterie bediente ich mich mit grosser Bequemlichkeit einer *Elektrophormaschine* [1]), der schönen Erfindung von Wilhelm Holtz. Obgleich die drehbare Glasscheibe nur 15 Zoll im Durchmesser, die ruhende nur zwei Belegungen besitzt, so wurde durch sie die Batterie in kürzerer Zeit geladen, als durch eine Elektrisirmaschine mit 30zölliger Scheibe und zwei Reibzeugen. Der negative Conductor der Elektrophormaschine war vollkommen zur Erde abgeleitet, der positive mit der innern Belegung der Batterie verbunden, deren äussere Belegung (wie immer) mit dem Innern der Maassflasche in Verbindung stand. Wenn die gewünschte Funkenzahl an der Maassflasche erreicht war, wurde die Verbindung der Maschine mit der Batterie sehr schnell gelöst. Der positive Conductor der Elektrophormaschine endigt nämlich in einem horizontalen, in einer Hülse leicht drehbaren Metallstabe, der mit einem runden Stiele aus Hartkautschuk versehn ist. An den Metallstab war normal ein Arm angesetzt und dieser berührte eine, mit dem Innern der Batterie durch einen Drath verbundene Kugel von 1 Zoll Durchmesser. Um den Kautschukstiel wurde eine Seidenschnur gewickelt; ein leich-

---

1) Die Elektrisirmaschine benutzt die Influenzelektricität zweiter Art, der Elektrophor die erster Art; an jedem dieser Apparate wird Eine Art ungenützt fortgeschafft (Elektricitätslehre 1. 247). Die Maschinen von Holtz und Töpler (Pogg. Ann. 126. 157. B. 125. 469) benutzen beide Arten der Influenzelektricität und dürften daher als Elektrophor-Elektrisirmaschinen, kürzer: Elektrophormaschinen verständlich bezeichnet sein.

ter Zug daran dreht den Metallstab um seine Axe, entfernt augenblicklich den Metallarm von der Kugel und bringt ihn in Berührung mit dem negativen Conductor. Die Nebenspirale war durch 5 1/2 Fuss eines 3/8 Linie dicken Kupferdrathes geschlossen, in den das Thermometer und das Ventil eingeschaltet wurden. Das Thermometer enthielt einen kürzern und dickern Platindrath, als bei den Versuchen am Inductorium, war also weniger empfindlich als dort. Im Ventile betrug der Luftdruck 1 Linie, seine Stellung wird auf den dem Hauptstrome gleichlaufenden Nebenstrom bezogen. Es folgen die Mittel aus drei Beobachtungen.

Erwärmung durch den Nebenstrom der leydener Batterie.

Elektricitätsmenge der Batterie.	ohne Ventil	mit demselben in Flächenstellung	mit demselben in Spitzenstellung
6	12,8 Lin.	11,2	11,0
8	20,8	19,2	19,9
10	32,2	29,0	30,2
12	44,3	42,3	43,8

Die Erwärmung der Schliessung durch den Nebenstrom ist also nahe dieselbe, das Ventil mag in Spitzen- oder Flächenstellung sein; sie ist in ganz metallischer Schliessung zwar grösser als nach Einschaltung des Ventils, aber der Unterschied ist überall und zumeist bei den stärkern Ladungen der Batterie, sehr gering.

Das zweite Ergebniss ist in hohem Grade überraschend. In der ganz metallischen Schliessung wird die Magnetnadel nicht abgelenkt, es müssen also die einander entgegengerichteten Ströme eine völlig gleiche Elektricitätsmenge besitzen. Nach Einschaltung des Ventils wird die Nadel nach einer bestimmten Seite abgelenkt, es sind nur Ströme Einer Richtung durch die Schliessung gegangen (S. 317); sind die der entgegengesetzten Richtung zurückgehalten worden, so wird die Erwärmung nur von der halben Elektricitätsmenge erregt worden sein. Wäre die Dichtigkeit im Gesammtstrome und in dem durch das Ventil gegangenen Strome dieselbe geblieben, so mussten die Thermometerangaben der

zweiten und dritten Reihe 6 10 16 22 Linien betragen, statt welcher 11 19 30 43 beobachtet wurden. Die Erwärmungen bei voller und unterbrochener Nebenschliessung waren um nicht mehr von einander verschieden, als sie bei voller und unterbrochener Hauptschliessung es sind, wo die Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie constant geblieben und die Menge durch die Unterbrechung nur wenig vermindert ist.

Es lassen sich verschiedene Ursachen dieses merkwürdigen Verhaltens des Nebenstroms vermuthen. Dass das Ventil alle Partialnebenströme, sowol die nach der einen, wie die nach der andern Seite gerichteten zu derselben Richtung bringen sollte, ist das Unwahrscheinlichste. Die durch das Ventil vom Kreislaufe ausgeschlossenen Ströme können zwar bis zum Ventile hin und in entgegengesetzter Richtung zurücklaufen, wobei sie zweimal durch den Drath des Thermometers gehen, sind aber, frühern Erfahrungen zufolge, zu schwach, als dass man ihnen einen merklichen Einfluss auf die Erwärmung beimessen könnte. Es wurde zum Ueberfluss beobachtet, dass, als die Nebenschliessung in freier Luft durch eine Metallscheibe und Spitze unterbrochen und dazwischen eine Glastafel gesetzt war, selbst bei Entladung der Elektricitätsmenge 20 aus der Batterie, wobei Licht auf den Glasflächen erschien, keine Erwärmung im Thermometer merklich wurde. Die Verstärkung eines Stromes durch Condensation an dem Rande einer Scheibe ist zwar nachweislich [1]), aber viel zu klein, um die hier vorliegende Thatsache zu erklären. So lässt sich als Hauptursache der beobachteten Erwärmungen bei voller und durch das Ventil unterbrochener Nebenschliessung nur Folgendes angeben.

Die einander entgegengerichteten Ströme, welche den Nebenstrom der Batterie in der ganz metallischen Schliessung zusammensetzen, kommen darin nicht zu voller Entwickelung. Sie folgen einander in einer Zeit, die selbst in Betracht der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität

1) Elektricitätslehre 1. 413.

als sehr klein zu betrachten ist. Die Endströme treten in die Schliessung ein, bevor die Anfangsströme darin erloschen sind, und zerstören einen Theil derselben. Bei dieser Zerstörung verlieren die Endströme an Elektricitätsmenge und gewinnen an Geschwindigkeit; sie sind es daher, welche die Richtung bestimmen, mit welcher der Gesammtstrom wirkt. In der magnetischen Ablenkung, die von der Geschwindigkeit des Stromes unabhängig ist, kann diese Richtung nicht hervortreten, wohl aber in der Magnetisirung von Stahlnadeln. Die Erwärmung der vollen metallischen Nebenschliessung der Batterie wird also von einer geringeren Elektricitätsmenge bewirkt, als die den beiden einander entgegenlaufenden Nebenströmen zugehört; hat das Ventil von ihnen den einen Theil ausgeschlossen, so kommt der andere zu voller Entwickelung und erwärmt die Schliessung fast eben so stark, wie früher beide Theile es thaten. Wenn auch die Elektricitätsmenge des vollständigen Einzelstroms nicht die des Gesammtstroms erreicht, so muss ihre Dichtigkeit grösser geworden sein durch die Einschaltung der Scheibe des Ventils. Für diese Verstärkung der Dichtigkeit durch die Scheibe spricht auch der Umstand, dass die Erwärmung unabhängig von der Stellung des Ventils bleibt. In der Hauptschliessung der Batterie ist die Erwärmung bedeutend grösser bei Flächenstellung des Ventils als bei Spitzenstellung[1]), weil der Entladungstrom stets von demselben Ende der Unterbrechung zum andern läuft, also bei Flächenstellung von der Scheibe des Ventils zur Spitze, bei Spitzenstellung von der Spitze zur Scheibe. Der wirkende Theil des Nebenstroms hingegen tritt an verschiedenen Stellen der Unterbrechung ein, stets so, dass er im Ventile von Scheibe zu Spitze geht, und wird daher in jedem Falle in gleicher Weise condensirt. Die Dichtigkeit des Endstromes ist nicht so verschieden von der des Anfangsstromes, um in der Erwärmung bemerklich zu werden. Bei der viel feineren Beobachtung der magnetischen Ablenkung wurde diese Ver-

1) Monatsberichte 1855. 398. Oben S. 139.

schiedenheit merklich, indem vom Endstrome gewöhnlich eine etwas grössere Elektricitätsmenge durch das Ventil ging, als vom Anfangsstrome.

Nach dieser Vorstellung ist der Nebenstrom der Batterie wesentlich verschieden von den andern zusammengesetzten Inductionsströmen. Der Strom einer magnetischen Maschine mit rotirendem Anker und der des Inductorium bei vibrirender Zunge besteht aus einzelnen Strömen, die unabhängig von einander mit wechselnder Richtung in die nicht elektrische Schliessung eintreten. Der Nebenstrom der Batterie besteht gleichfalls aus Strömen entgegengesetzter Richtung, aber solchen, die sich zum Theil decken und in der Elektricitätsmenge, wie in der Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung gegenseitig verändern. An dem Nebenstrome experimentiren wir mit Einem Strome, dessen Theile untrennbar sind, an den Strömen der genannten Apparate mit zwei Strömen, die wir durch eine beliebige Zwischenzeit von einander trennen können. Daher die verschiedene Wirkung des Ventils, das nur bei den Inductionsströmen seinem Namen entspricht, indem es von zwei verschiedenen Erscheinungen die der einen Art absondert, und die der andern hervortreten lässt in derselben Beschaffenheit, wie sie vorher bestanden hatten. An dem Nebenstrome der Batterie hingegen zerstört das Ventil einen Strom bestimmter Art, um einen andern hervortreten zu lassen, der mit der Elektricitätsmenge und Geschwindigkeit, die er besitzt, vorher nicht bestanden hatte. Nur seine Richtung hat der Strom beibehalten, und in Bezug hierauf darf der frühere Ausdruck ferner gebraucht werden, dass das Ventil von den beiden Theilen des Nebenstroms den dem Hauptstrome gleichlaufenden oder den ihm entgegenlaufenden Theil durchgelassen habe. Die Erregung des Nebenstroms in der Nebenspirale wird durch Einschaltung des Ventils in ihre Schliessung nicht verändert, was sich durch Beobachtung der Rückwirkung des Stromes auf den Hauptstrom nachweisen lässt.

Fünfter Abschnitt.
Erregung der Elektricität.

Erstes Kapitel.
Erregung durch Reibung.

Oberflächenänderung der Guttapercha.*
(Zu §. 935.)

Wer längere Zeit die Guttapercha angewendet hat, wird bemerkt haben, dass die Oberfläche einer sorgfältig gesäuberten Platte nach einigen Monaten stellenweise von einem bläulichen Hauche gefärbt ist, der sich, wenn er durch Abreiben entfernt wird, zu wiederholten Malen erneut, so lange die Platte noch biegsam ist. Bleibt die Platte jahrelang unberührt, so erscheint ihre ganze Oberfläche matt graublau, und unter dem Mikroskope erkennt man, dass die Färbung von einer ausserordentlich dünnen Schicht herrührt, die bei 105facher Vergrösserung aus sehr feinen weissen Pünktchen zusammengesetzt erscheint. Diese Aenderung der Gutta habe ich bei allen Fabrikaten derselben gefunden, die nicht mit Firniss überzogen sind, bei Röhren, Schnüren, dicken Platten von heller und dunkler Farbe, wie bei den dem

* Poggendorff's Ann. 91. 489. (1854.)

Wachstaft ähnlichen dünnen Blättern; doch tritt sie bei der dunkelbraunen Gutta früher auf, als bei der hellbraunen, womit die folgende Erfahrung zu vereinigen ist. An einem Kasten, den ich vor zwei Jahren aus Platten einer hellbraunen Gutta zusammengelöthet hatte, sind jetzt die Wände nur stellenweise blau, hingegen die Löthfugen und alle Stellen, die der heisse Bolzen berührt hatte, mit einer dichten blauen Decke überzogen. Es folgt hieraus, dass eine höhere Temperatur, welcher die Gutta einmal ausgesetzt war, die Aenderung der Oberfläche begünstigt, und dass die dunkle Sorte der Guttapercha bei ihrer Bereitung einer grössern Hitze ausgesetzt war, als die helle. Der blaue Ueberzug lässt sich mechanisch durch starkes Reiben der Platte mit einem Tuche grösstentheils entfernen, chemisch und vollständig durch momentanes Eintauchen der Platte in Schwefeläther oder Terpenthinöl; Alkohol von 0,8 spec. Gew. verändert ihn nicht.

Die in der beschriebenen Weise an der Oberfläche veränderte Guttapercha hat eine merkwürdige physikalische Eigenschaft. Die reine Gutta ist bekanntlich ein guter Isolator der Elektricität und steht so tief in der elektrischen Erregungsreihe durch Reibung, dass sie mit fast allen Körpern gerieben, stark *negativ* elektrisch wird. Ich kenne nur Schiessbaumwolle, Collodium und elektrisches Papier, welche die Gutta positiv elektrisiren. Durch die Oberflächenänderung erfährt die Gutta keine Aenderung ihres Isolationsvermögens, aber sie ist dadurch hoch in der Erregungsreihe hinaufgerückt, und wird, mit fast allen Körpern gerieben, stark *positiv* elektrisch. Nur mit Glimmer, Diamant und Pelzwerk gerieben, habe ich sie negativ erhalten. Reinigt man die eine Fläche einer alten Guttaperchaplatte mittels Schwefeläther, so besitzt man eine Platte, deren blaue Fläche mit der Hand, Leinwand, Glas, Bergkrystall, der Fahne einer Feder, Flanell leicht gerieben, stark positiv, und deren braune Fläche mit denselben Reibern stark negativ wird.

Die Veränderung der Gutta hat ohne Zweifel in der,

durch Einfluss der Luft und Wärme bewirkten Ausscheidung eines Bestandtheils der Masse ihren Grund. Ich verdanke Herrn Heinrich Rose zwei Präparate, die aus absolutem Alkohol gewonnen wurden, der in Berührung mit Guttapercha lange Zeit im Kochen erhalten worden war. Das eine Präparat, ein grauweisses leichtes Pulver, das aus dem heissen Alkohol bei längerem Erkalten sich von selbst abgeschieden hatte, erschien bei 300facher Vergrösserung aus kugligen Körpern mit rauher Oberfläche zusammengesetzt. Bis 100° C. erhitzt, blieb das Pulver unverändert, bei höherer Temperatur schmolz es zu einer dunkeln öligen Flüssigkeit, die zu einer schwärzlichen, vielfach zerklüfteten Masse erstarrte. Diese Masse, nach der vollständigen Erkaltung mit Flanell gerieben, wurde entschieden *positiv* elektrisch und erhielt diese Eigenschaft, wenn sie dieselbe verloren hatte, durch Umschmelzen wieder. Die geringe Menge des Pulvers hinderte, daraus das weisse krystallisirte Harz darzustellen, das Payen aus einem solchen Pulver ausgeschieden hat[1]). Das zweite Präparat, ein gelbes amorphes Harz, das durch Abdestilliren des Alkohols erhalten worden war, enthielt Alkohol und konnte, da es deshalb bei — 1° noch weich und klebend blieb, nicht untersucht werden.

Die Untersuchung der von Payen aus der Guttapercha dargestellten Harze in Bezug auf ihre elektrische Erregbarkeit dürfte in zwiefacher Hinsicht interessant sein, da wir bisher keinen vegetabilischen Stoff von so eminent positiver Erregbarkeit kennen, wie sie die veränderte Oberfläche der Gutta zeigt, und ferner die Bildung der blauen Schicht mit der unglücklichen Aenderung der Guttapercha in eine spröde, zerbrechliche Masse zusammenzuhangen scheint.

---

1) Comptes rendus 35. 114.

Gedruckt bei Julius Sittenfeld in Berlin.